



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

ROBOTICKÝ STOLNÍ FOTBAL - HERNÍ STRATEGIE

ROBOTIC TABLE FOOTBALL - GAME STRATEGY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Roman Parák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. et Ing. Stanislav Lang

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Student: **Bc. Roman Parák**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Aplikovaná informatika a řízení
Vedoucí práce: **Ing. et Ing. Stanislav Lang**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Robotický stolní fotbal - herní strategie

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce bude zahrnovat rešerši problematiky realizace robotického stolního fotbalu. Následovat bude úprava mechanického řešení Ing. Petra Marečka a jeho rozšíření na všechny herní osy. Tvůrčí prací studenta bude návrh, implementace a ověření herních strategií pro robotický stolní fotbal.

Práce bude realizována ve spolupráci s firmou B+R Automatizace s r.o., která poskytne řídicí prostředky a část know how v oblasti řízení pohonů.

Cíle diplomové práce:

- Provedte stručnou rešerši současných řešení robotického stolního fotbalu.
- Seznamte se s řídicími prostředky společnosti B&R Automation a vývojovým prostředím Automation Studio.
- Provedte rozšíření robotizace stolního fotbalu na všechny osy jednoho týmu.
- Navrhněte vlastní herní strategie pro všechny osy jednoho týmu.
- Implementujte herní strategie na řídicích prostředcích B&R Automation.
- Ověřte herní strategie simulací a následně na reálném stolním fotbalu.

Seznam doporučené literatury:

MAREČEK, P. Robotický stolní fotbal. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 74 s. Vedoucí diplomové práce Ing. et Ing. Stanislav Lang.

JEDINÝ, L. Robotický stolní fotbal. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 88s. Vedoucí diplomové práce Ing. et Ing. Stanislav Lang.

MAŇAS, M. Teorie her a její aplikace, SNTL, Praha, 1991

B&R Automation, <http://www.br-automation.com/cs/>.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cieľom diplomovej práce je úprava zariadenia robotického stolného futbalu a návrh herných stratégií. Diplomová práca bola rozšírená o návrh technológie pre bezpečnosť robotického stolného futbalu a návrh vizualizačného rozhrania. V úvode sú popísané doposiaľ vyvinuté riešenia a prezentácia spoločnosti B+R Automatizace. Ďalšie kapitoly popisujú úpravu mechanického riešenia, návrh elektrického zapojenia, vytvorenie simulácie vo vývojovom prostredí MATLAB, vyriešenie problematiky bezpečnosti a následnú aplikáciu riešenia do robotického stolného futbalu. Záver diplomovej práce je venovaný návrhu vizualizačného rozhrania.

ABSTRACT

The aim of the master's thesis is the robotic table football device modification and the design of game strategies. The thesis was extended by the design of technology for the robotic table football safety and the design of the Human Machine Interface (HMI). In the introduction so far developed solutions and presentation of the B&R Automation company are described. The following chapters describe mechanical solution modification, electrical wiring diagram design, creating simulation in the MATLAB development environment, resolving security issues and the subsequent application of a solution into the robotic table football. The conclusion of the thesis is devoted to the visualization interface design.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Robotický stolný futbal, B+R Automatizace, optická brána, rotačný motor, lineárny motor, Automation Studio, servozosilovač, bezpečnosť, vizualizačné rozhranie

KEYWORDS

Robotic soccer table, B&R Automation, light curtain, rotary motor, linear motor, Automation Studio, frequency converter, safety, Human Machine Interface (HMI)

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

PARÁK, Roman. *Robotický stolní fotbal – herní strategie*, Brno, 2017, 116 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky. Vedúci diplomovej práce Ing. et Ing. Stanislav Lang.

POĎAKOVANIE

V prvom rade ďakujem svojmu vedúcemu Ing. et Ing. Stanislavovi Langovi za účinnú, metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc, cenné rady a priateľský prístup pri spracovaní diplomovej práce. Ďalej ďakujem firme B+R Automatizace, spol. s.r.o v Brne za poskytnuté priestory a hardwarové vybavenie pre tvorbu diplomovej práce. Ďakujem pánovi Ing. Romanovi Mužíkovi za odborné rady, pravidelné konzultácie a poskytnutý čas. Na záver by som chcel poďakovať svojej rodine za podporu počas celého štúdia, či už finančnú alebo psychickú, bez ktorej by táto práca vznikla len veľmi ťažko.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

„Prehlasujem, že svoju diplomovú prácu na tému *Robotický stolný futbal – herné stratégie* som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú súčasťou bibliografický citácií uvedených v zoznamu použitej literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúceho autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávnych dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia druhej časti, VI. diel 4 Trestného zákonníku č. 40/2009 Sb.“

V Brne dňa: 25.5.2017

.....

Bc. Roman Paráček

OBSAH

1	ÚVOD.....	15
2	PREHLAD SÚČASNÝCH RIEŠENÍ V OBLASTI ROBOTICKÉHO STOLNÉHO FUTBALU 17	
2.1	POLOAUTOMATICKÝ STOLNÝ FUTBAL – EINDHOVEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	17
2.2	KATEDRA ŘÍDÍCI TECHNIKY FAKULTY ELEKTROTECHNICKÉ ČVUT V PRAZE.....	18
2.3	ROBOTICKÝ STOLNÝ FUTBAL – FIRMA PILZ.....	20
2.4	A.I. FOOSBALL: HUMANS V. ROBOTS – BIRMINGHAM YOUNG UNIVERSITY.....	21
2.5	ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE(EPFL).....	22
3	B&R AUTOMATION	25
3.1	SPOLOČNOSŤ B&R AUTOMATION	25
3.2	RIADIACE PROSTRIEDKY SPOLOČNOSTI B&R	27
3.2.1	Ethernet POWERLINK	27
3.2.2	I/O systém X20.....	27
3.2.3	Riadenie pohybu	28
3.2.4	Priemyselné počítače	29
3.3	VÝVOJOVÉ PROSTREDIE AUTOMATION STUDIO V 4.2.8.....	30
4	ÚPRAVA ROBOTIZÁCIE STOLNÉHO FUTBALU	33
4.1	SÚČASNÉ RIEŠENIE ROBOTICKÉHO STOLNÉHO FUTBALU.....	33
4.2	ÚPRAVA KONŠTRUKCIE HERNEJ OSI.....	34
4.3	TESTOVANIE ÚPRAV KONŠTRUKČNÉHO RIEŠENIA	37
4.4	VÝBER ZVÝŠNÝCH HARDWAROVÝCH KOMPONENTOV	39
4.4.1	Zdroj pre napájanie servozosilovačov	39
4.4.2	Zdroj pre napájanie elektrický zariadení.....	40
4.4.3	Servozosilovače.....	41
4.4.4	Motory.....	42
4.4.5	Systém X20.....	43
4.4.6	Užívateľský panel PC.....	45
4.4.7	Zhrnutie návrhu komponentov robotického stolného futbalu.....	47
4.5	SPOLUPRACUJÚCE PROJEKTY PRI RIEŠENÍ PROBLÉMU ROBOTICKÉHO FUTBALU	48
4.5.1	Detekcia loptičky.....	49
4.5.2	Detekcia polohy protihráča	50
4.5.3	Detekcia vstreleného gólu.....	51
5	SIMULÁCIA	53
5.1	MODEL HRACEJ PLOCHY STOLNÉHO FUTBALU	53
5.2	NÁVRH SIMULÁCIE DEFENZÍVNEJ STRATÉGIE	54
5.2.1	Výpočet smeru loptičky	55
5.2.2	Výpočet času a miesta prekríženia loptičky a hráčskej osi	58
5.2.3	Výpočet pozícií jednotlivých hráčov	60
5.2.4	Výpočet pozície, rýchlosti, zrýchlenia a spomalenia jednotlivých osí.....	61
5.2.5	Užívateľské prostredie pre defenzívnu stratégiu	64
5.3	NÁVRH SIMULÁCIE OFENZÍVNEJ STRATÉGIE	66
5.3.1	Voľba ofenzívnej taktiky pri zachytení trajektórie loptičky prichádzajúcej spredu (TYP 2).....	67
5.3.2	Voľba ofenzívnej taktiky pri zachytení trajektórie loptičky prichádzajúcej od chrbta (TYP 1). ..	69

6 SAFETY (BEZPEČNOSTĚ)	73
6.1 RIZIKOVÁ ANALÝZA ROBOTICKÉHO STOLNÉHO FUTBALU	73
6.2 VOĽBA BEZPEČNOSTNÝCH PRVKOV	75
6.2.1 Zapojenie bezpečnostných prvkov	76
6.3 PROTOKOL OPENSAFETY	78
6.4 NÁVRH A IMPLEMENTÁCIA BEZPEČNOSTNEJ APLIKÁCIE	79
6.4.1 SafeDESIGNER	79
6.4.2 Použité knižnice PLCopen pre bezpečnostné prvky stolného futbalu	80
6.4.3 Tvorba bezpečnostnej aplikácie SafePLC	82
6.4.4 Testovanie vytvorenej aplikácie	83
7 NÁVRH A IMPLEMENTÁCIA RIADENIA	85
7.1 KONFIGURÁCIA AUTOMATION STUDIA	85
7.1.1 Nastavenie komunikácie	87
7.1.2 Nastavenie cyklických tried	87
7.2 KONFIGURÁCIA OSÍ MOTOROV	88
7.2.1 Nastavenie parametrov rotačného motoru	89
7.2.2 Nastavenie parametrov lineárneho motoru	91
7.3 NÁVRH A IMPLEMENTÁCIA RIADIACEHO ALGORITMU	92
7.3.1 Inicializácia jednotlivých osí motorov	94
7.3.2 Logika riadenia motorov	95
7.3.3 Detekcia chybových hlásení	97
7.3.4 Funkčný blok pre informácie o hre	97
7.3.5 Vývojové diagramy pre riadenie	97
7.4 TESTOVANIE NÁROČNOSTI ZAŤAŽENIA RIADIACEHO PROGRAMU	100
8 NÁVRH UŽÍVATEĽSKÉHO PROSTREDIA HMI	101
8.1 TECHNOLÓGIA PRE TVORBU VIZUALIZÁCIE HMI	101
8.2 KONFIGURÁCIA VIZUALIZÁCIE V AUTOMATION STUDIUM	102
8.3 NÁVRH A OPIS JEDNOTLIVÝCH STRÁNOK HMI	103
8.4 IMPLEMENTÁCIA NA RIADIACI PANEL B&R	106
9 ZÁVER	109
10 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	111
11 ZOZNAM PRÍLOH	115

1 ÚVOD

Cieľom diplomovej práce je úprava zariadenia robotického stolného futbalu na všetky zvyšné osi, výber zvyšných hardwarových komponentov, návrh a realizácia elektrického zapojenia, návrh herných stratégií v simulácií, ktoré sú následne overené na reálnom zariadení. Diplomová práca bola rozšírená o návrh technológie pre bezpečnosť robotického stolného futbalu a návrh vizualizačného rozhrania. Záverečná práca vznikla pod záštitou firmy B+R Automatizace so sídlom v Brne, ktorá celú prácu financovala. Robotický stolný futbal bude slúžiť v prvom rade pre propagáciu spoločnosti B+R, avšak aj pre prepojenie Vysokého učení technického (VUT) v Brne a danej firmy, či dokonca propagácie VUT, ktorá má na robotickom stolnom futbale umiestnené reklamné prvky.

Úvod práce je zameraný na popis jednotlivých riešení automatizované stolného futbalu, ktoré boli vytvorené vo svete ale aj v českej republike. Po rešerši riešení nasleduje prehľad výrobkov a rôznych technológií firmy B+R. Ďalšia kapitola popisuje úpravu riešenia robotického stolného futbalu a návrh pre zvyšné osi. Ďalej obsahuje výber zvyšných hardwarových komponentov, realizáciu elektrického zapojenia, a v poslednej rade predstavenie spolupracujúcich projektov na stolnom futbale. Ďalším krokom je vytvorenie herných stratégií (defenzívnych, ofenzívnych), ktoré sú následne overované na simulácií vo vývojovom prostredí MATLAB. Po vytvorení simulácie nasleduje kapitola, ktorá je zameraná na návrh bezpečnostných prvkov, ktoré budú využívané na robotickom stolnom futbale a implementácia aplikácie pre bezpečnosť v nástroji SafeDESIGNER. V poslednej časti diplomovej práce je uvedený postup vytvorenia a nastavenia herných osí, inicializácia a implementácia herných stratégií na reálny stroj. Po implementácii nasleduje kapitola pre vytvorenie užívateľského rozhrania HMI, ktoré je následne otestované na reálnom paneli.

2 PREHĽAD SÚČASNÝCH RIEŠENÍ V OBLASTI ROBOTICKÉHO STOLNÉHO FUTBALU

Začiatky vývoja v oblasti robotického stolného futbalu siahajú do roku 2002, kde na univerzite vo Freiburgu zostrojili plne autonómny stolný futbal, ktorý bol vyvinutý za účelom výskumu robotiky a umelej inteligencie.

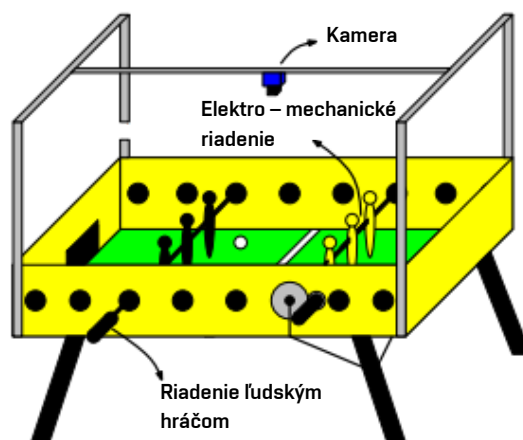
V posledných dvoch rokoch daná oblasť zaznamenala voči ostatným rokom exponenciálny vzrast, či už z pohľadu, že v danom období vznikla väčšina riešení alebo z pohľadu kvality po softvérovej a hardwarovej stránke.

Väčšina nižšie uvedených riešení v danej oblasti bola vytvorená v univerzitnej sfére pri diplomových, bakalárskych prácach, či doktorandských výskumoch. Jedna z nižšie uvedených prác bola komerčného charakteru, kde výsledný efekt mal slúžiť ako propagácia firmy.

2.1 Poloautomatický stolný futbal – Eindhoven University of Technology

Na technickej univerzite v meste Eindhoven bol v roku 2012 vyvinutý poloautomatický stolný futbal, ktorý slúžil pre testovanie experimentov v rôznych špecifických oblastiach vývoja ako sú napr. strojové učenie, adaptívne riadiace systémy, identifikácia systémov, počítačové videnie atď.

Akademickí pracovníci a študenti prerobili profesionálny stolný futbal na robotický tak, aby vyhovoval predpisom USTSA(*Foosball Rules of Play*). Jedna strana robotického stolného futbalu bola riadená elektro-mechanicky pomocou riadiacich systémov od firmy Beckhoff, druhá strana bola riadená ľudským hráčom, prípadne dvoma hráčmi. Konštrukcia stolného futbalu bola upravená pre uchytenie kamery, ktorá slúžila pre detekciu loptičky. Kamera komunikovala cez ethernet s riadiacim systémom Beckhoff. Jednoduchá schéma stolného futbalu je znázornená na Obr. 1.



Obr. 1: Schéma robotického stolného futbalu – Eindhoven University of Technology [1]

Začiatočná herná stratégia vedcov z univerzity bola ovládať jednu automatizovanú hernú tyč, ktorá mala zachytiť loptičku a následne vykonať odkop smerom k bránke protivníka. Pomocou vlastného spracovania obrazu museli odfiltrovať hľadania všetkých objektov okrem loptičky (Obr. 2), (Obr. 3). V riešení poloautomatické stolného futbalu bola navrhnutá metóda sledovania loptičky pomocou počítača s frekvenciou 100 Hz. Vedci predpokladali maximálnu rýchlosť loptičky 10 m/s.

Po dokončení softvérovej a hardwarovej časti prvej hernej tyče aplikovali vedci z univerzity rovnaké riešenie pre zvyšné tyče a začali zbierať dáta pre strojové učenie a ďalšie oblasti výskumu.

Pri testovaní vykazoval stolný futbal veľmi dobré výsledky, dokonca algoritmus pre spracovanie obrazu zaznamenal za určitý čas 100% úspešnosť pri hľadaní loptičky. Testovanie prebehlo aj proti profesionálnemu hráčovi, ktorý nebol schopný poraziť dané riešenie. [1] [2]



Obr. 2: Originálny obrázok a premietnutá maska(pred filtrom) – Eindhoven University of Technology [2]



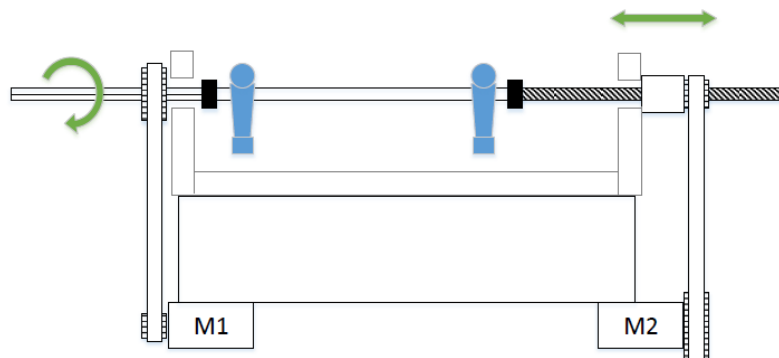
Obr. 3: Originálny obrázok a premietnutá maska(po filtri) – Eindhoven University of Technology [2]

2.2 Katedra řídicí techniky Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze

Na Fakultě elektrotechnické Českého vysokého učení technického v Praze vzniklo v akademickom roku 2014/2015 prvé riešenie na českej pôde v oblasti robotického stolného futbalu. Diplomová práca sa zameriavala na automatizáciu jednej hernej osi stolného futbalu, konkrétne hernej osi obrancu, a sledovanie polohy loptičky pomocou kamery.

Riadenie hernej osi bolo zabezpečené pomocou dvoch servomotorov a riadiaceho systému od firmy Siemens. Z jednej strany bolo na hernú osu pripevnené ozubené koleso,

ktorého pohyb pozdĺž osi bol vedený drážkou v hriadeli a cez rameno spojený s hriadelom servomotoru (rotačný pohyb pre výkop loptičky). Z druhej strany bol servomotor taktiež remeňom spojený s ozubeným kolesom, ktoré cez skrutkovú na osi pohybuje s hráčmi v horizontálnom smere. (Obr. 4) (Obr. 5)



Obr. 4: Schéma usporiadania servomotorov – ČVUT v Praze [3]



Obr. 5: Detaily usporiadania servomotorov – ČVUT v Praze [3]

Riadiaci systém stolného futbalu bol postavený na komponentoch od firmy Siemens, konkrétne na priemyselnom PLC(*Programmable logic controller*) Simotion D432 (*Motion Controller*), doplnený o riadiacu jednotku a ďalšie komponenty. Súčasťou riadiaceho systému bola taktiež inteligentná kamera In - Sight od firmy Cognex. Návrh umiestnenia kamery bol zvolený nad hracou plochou stola. Súčasťou návrhu bolo taktiež osvetlenie a zmena farby loptičky kvôli lepšej detekcii.

V softvérovej časti bol implementovaný algoritmus pre zastavenie loptičky a následné odohratie smerom k bránke súpera. Odohratie bolo navrhnuté buď, pomocou priameho odpalu najbližším hráčom, ktorý sa nachádza pri loptičke alebo prihrávkou smerom k druhému hráčovi a následným odkopom k bránke súpera.

Vzhľadom na možné neočakávané správanie riadiacej sústavy bol navrhnutý bezpečnostný systém, ktorý sa skladá z bezpečnostného plexiskla štvorcovej postavy s otvorom vo vrchnej časti, inteligentnej bezpečnostnej kamery a bezpečnostného relé. V prípade priechodu telesa, ktoré je väčšie ako ľudská ruka kamera generuje signál, ktorý cez bezpečnostné relé privedie signál na vstupy riadiacej jednotky a zastaví pohyb. [3]

2.3 Robotický stolný futbal – firma PILZ

Spoločnosť PILZ s.r.o., ktorá sa zaoberá priemyselnou automatizáciou sa stala prvou firmou, ktorá vyriešila problém robotického stolného futbalu, ktorý mal komerčný charakter a jeho účel bola propagácia firmy a jej komponentov. Prvé predstavenie bolo zaznamenané v roku 2015 na veľtrhu v meste Hannover, o rok neskôr sa ich riešenie objavilo aj na veľtrhu Ampér v Brne.

Jednalo sa o stolný futbal štandardných rozmerov, ktorý bol upravený pre robotizáciu všetkých 4 herných osí jednej strany. Druhá strana bola ponechaná pre ľudského hráča. Riadenie osí bolo zabezpečené dvoma rotačnými motormi na každej osi. Lineárny pohyb bol prenášaný na skrutkovicu, ktorá zabezpečovala prevod rotačného pohybu na lineárny (Obr. 6). Celý systém bol riadený pomocou komponentov od firmy PILZ (riadiaca jednotka, motory, bezpečnostná riadiaca technika, HMI panel atď.). Detekcia loptičky bola vyhodnocovaná kamerou, ktorá sa nachádzala pod hracou plochou stola, a následne spracovávaná riadiacou jednotkou. Pre lepšiu detekciu bolo umiestnené osvetlenie taktiež pod hracou plochou stola a pre väčšiu presnosť a neočakávané vplyvy osvetlenia bolo umiestnené čierne plátno nad hraciu plochu.



Obr. 6: Riadenie herných osí pomocou servomotorov – PILZ

Z hľadiska implementácie algoritmu bola zvolená jednoduchá taktika, ktorá mala v prvom rade zabrániť inkasovaniu gólu. Po chytení, respektíve nastavení robotického hráča pred pozíciu detegovanej loptičky, softvér zvolil následný výstrel smerom ku bránke súpera. Táto taktika však aj tak bola schopná porážať amatérskych hráčov.

Automatizovaný stolný futbal obsahoval bezpečnostné prvky (bezpečnostné tlačidlá E – Stop, optická brána), ktoré boli potrebné pri vystavovaní na veľtrhoch pre bezpečnosť ľudského hráča. Akonáhle riadiaca jednotka zaznamenala signál z optickej

brány alebo E – Stop tlačidlá vypla riadenie motorov. V poslednom rade stolný futbal obsahoval jednoduchú HMI vizualizáciu pre spúšťanie, počítanie gólov atď. (Obr. 7). [4]



Obr. 7: Robotický stolný futbal – firma PILZ

2.4 A.I. Foosball: Humans v. Robots – Birmingham Young University

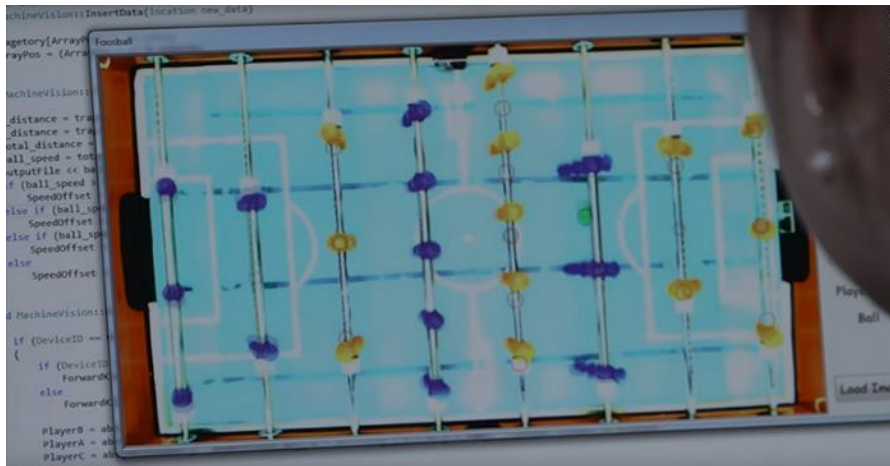
Skupina študentov počítačového inžinierstva z Birmingham Young University (BYU) pod vedením profesora D.J. Lee vytvorila robotický stolný futbal, ktorý je riadený prostredníctvom umelej inteligencie. Cieľom univerzitného projektu bolo vytvoriť automatizovaný stolný futbal, ktorý dokáže konkurovať ľudskému hráčovi.

Návrh konštrukcie poloautomatizovaného stolného futbalu bol podobný ako v predchádzajúcom prípade (2.2 *Katedra řídicí techniky Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze*), kde pre spôsob riadenia lineárneho a rotačného pohybu bol použitý rotačný servomotor. Konštrukcia bola zväčšená o pripevnenie kamery, ktorá sa nachádza nad hracou plochou stolného futbalu. Pre lepšie detegovanie loptičky bolo na konštrukciu pripevnené osvetlenie v podobe LED pásov. (Obr. 8).



Obr. 8: Konštrukcia robotického stolného futbalu – BYU [5]

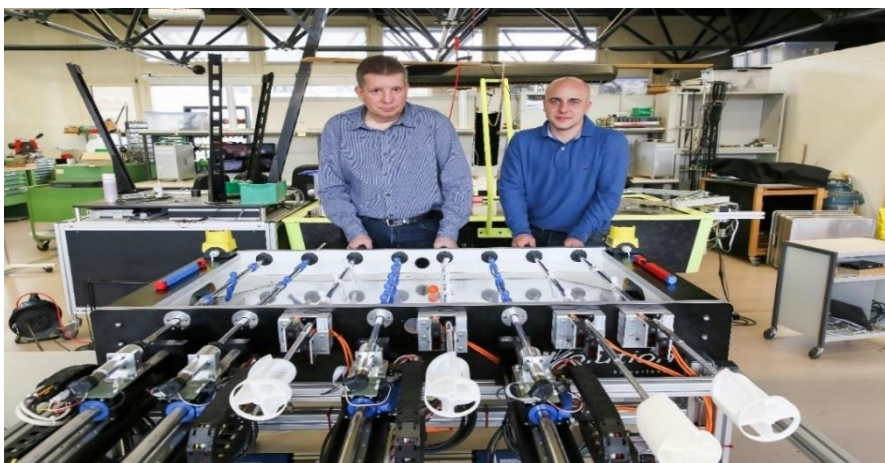
Implementácia riadiaceho algoritmu bola primárne zameraná na umelú inteligenciu v oblasti spracovania obrazu a strojového učenia. Algoritmus počas hry sleduje protivníka a snaží sa mu prispôsobiť. Riadiaci program sa stále učí a čím viac hier odohrá, tým je takticky vyspelejší. Veľkou výhodou riešenia bolo vlastné spracovávanie obrazu (Obr. 9). [6] [7]



Obr. 9: Aplikácia pre spracovávanie obrazu – BYU [5]

2.5 École polytechnique fédérale de Lausanne(EPFL)

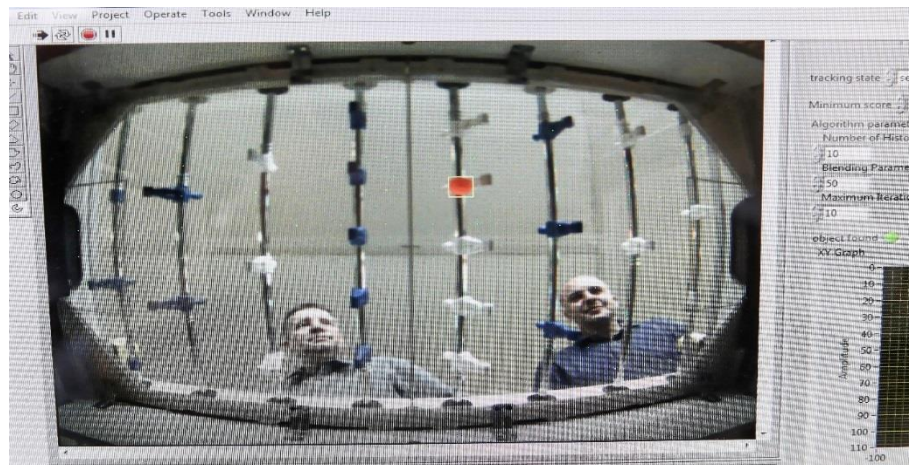
Výskumní pracovníci v spolupráci so študentmi na Švajčiarskej polytechnickej univerzite vylepšili v roku 2016 robotický stolný futbal, ktorý dokáže poraziť ľudského hráča s priemernými zručnosťami. Robotický stolný futbal sa používal na univerzite už niekoľko rokov predtým, ale posledné vylepšenia mu dodali väčšiu rýchlosť, presnosť a zvýšili mu výkon (Obr. 10).



Obr. 10: Robotický stolný futbal – EPFL [8]

Pre riadenie lineárneho pohybu sa používajú vysoko dynamické lineárne motory, ktoré sa pohybujú s presnosťou menšou ako je 1 mm a môžu generovať zrýchlenie, ktoré dosahuje hodnotu až 9 g, čím zabezpečujú väčšie rýchlosti ako dokáže vynaložiť ľudský

hráč. Rotačný pohyb pre výstrel robotickej osi bol zabezpečený rotačným servomotorom. Detekcia loptičky je zabezpečovaná pomocou kamery, ktorá sa nachádza pod hracou plochou stolného futbalu a dokáže detegovať až 300 snímok za sekundu, ktorého dôsledok je vlastné spracovanie obrazu a výber vhodnej kamery, ktorá deteguje farebnú loptičku cez priehľadnú hraciu plochu (Obr. 11). Veľká výhoda daného riešenia je detekcia protihráča, ktorá je riešená pomocou laserov, kde robot dokáže detegovať pozíciu a uhol natočenia protihráča. [8] [9]



Obr. 11: Spracovanie obrazu pri detekcii loptičky – EPFL [8]

3 B&R AUTOMATION

3.1 Spoločnosť B&R Automation

Spoločnosť B&R Automation Ges. m. b. H. bola založená pánom Erwinom Berneckerom a pánom Josefom Rainerom v roku 1979 v Rakúskom mestečku, ktoré má názov Eggelsberg (Obr. 12), a momentálne pôsobí po celom svete. Na český trh sa dostala začiatkom roku 1997 pod názvom B+R Automatizace a momentálne má dve pobočky, ktoré sa nachádzajú v Brne a Prahe. Spoločnosť B&R sa radí medzi svetových výrobcov v oblasti automatizačnej techniky, a každoročne investuje takmer 15% obratu späť do výskumu a vývoja. Zamestnáva viac ako 3000 ľudí, z čoho je zhruba tretina inžinierov, ktorý pôsobia ako výskumníci, vývojári atď. Motto firmy B&R znie „*Perfection in Automation*“, čo znamená „Dokonalosť v automatizácii“ o čom svedčí aj spokojnosť zákazníkov.



Obr. 12: Eggelsberg – Hlavné sídlo spoločnosti [10]

V priebehu viac ako 30 rokoch spoločnosť prišla s niekoľkými technickými riešeniami. Začalo to v roku 1980, kedy firma B&R prišla na trh s čítačom Unicount a tiež s programovateľným logickým automation (PLC) Unicontrol, ktorým bol v danom momente moderným riešením priemyselnej automatizácie. Ďalším vývojom a rôznym vylepšením PLC sa firma dostávala do popredia v riadení pohonov, CNC (Computer Numerical Control) a riadiacich panelov PC. V roku 1993 firma prišla na trh s priemyselným počítačom, ktorý mal názov IPC2000. Ďalší dôležitý dátum bol rok 1997, kedy spoločnosť B&R vymyslela svoje vlastné vývojové prostredie pre programovanie automatizačnej techniky, ktoré malo názov Automation Studio (AS). Neskôr v roku 1999 vznikol prvý servozosilovač pre riadenie pohonu s názvom ACOPOS. Niekedy okolo roku 2002 vynašla firma komunikačný protokol Ethernet POWERLINK, ktorý neskôr využívala vo svojich vlastných produktoch. Postupne počas vývoja boli na trhu uvádzané rôzne vstupné/výstupné (I/O) moduly a riadiace jednotky pre riadenie pohonov.

V súčasnosti má B&R celú radu produktov pre riadenie pohonov, bezpečnosti(safety), vizualizáciu atď. V posledných rokoch firma B&R predstavila rôzne inovatívne technológie, či už je to modulárny systém X20, riadenie viacosích systémov servopohonov pomocou ACOPOSmulti, technológiu mapp a nový typ vizualizácie pomocou webového rozhrania mappView, či technológiu super-track pre technológie priemyselnej dopravy. [10]



Obr. 13: Produkty spoločnosti B&R [10]

Nedávne informácie potvrdili zlúčenie spoločnosti ABB a spoločnosti B&R. Ide o veľmi pozoruhodné zlúčenie, pretože jednotlivé sortimenty oboch spoločností sa dopĺňujú. ABB má silnú pozíciu v prostriedkoch a systémoch pre automatizáciu procesnej výroby(chemický, farmaceutický, petrochemický a energetický priemysel), firma B&R je dodávateľom automatizačných a pohonných systémov pre riadenie strojov a výrobných procesov (napr. vo výrobe automobilov, elektroniky, spotrebného tovaru a pod.). [11]



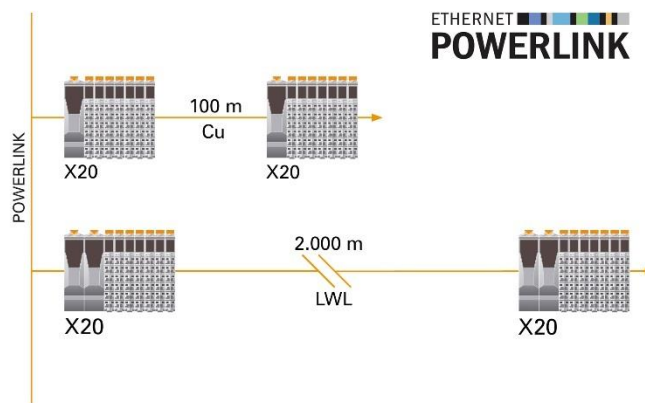
Obr. 14: ABB + B&R [11]

3.2 Riadiace prostriedky spoločnosti B&R

3.2.1 Ethernet POWERLINK

Ethernet POWERLINK je komunikačný štandard, ktorý patrí medzi priemyselný typ Ethernetu (komunikácia v reálnom čase). Bol uvedený na trh koncom roku 2001 firmou Bernecker & Rainer Industrie Elektronik GmbH. Rok po vytvorení štandardu bola ustanovená organizácia (*Ethernet Powerlink Standardization Group*) a v roku 2003 vyšla nová verzia pod názvom Ethernet Powerlink V2, ktorá rozširuje pôvodný štandard o aplikačnú vrstvu. Ethernet Powerlink dosahuje výborné vlastnosti reálneho času čisto softvérovým riešením a tým, že vychádza z komunikačného štandardu Ethernet, nepotrebuje žiadny prídavný hardware. Tento typ komunikačného štandardu je možné použiť pre všetky prostriedky firmy B&R (vstupy/výstupy, pohony atď.), a výmenu dát medzi nimi.

Štandard Powerlink je cyklický a môžeme pri ňom nastaviť dobu cyklu (najkratšia nastaviiteľná doba cyklu zbernice je 400 μ s). Veľkou výhodou je možnosť nastavovať parameter komunikácie tak, že si ich užívateľ môže prispôsobiť svojim požiadavkám. Powerlink je postavený na štandarde Fast Ethernet a prenosová rýchlosť dosahuje až 100 Mb/s. Dĺžka segmentu je maximálne 100 m, pričom je možná topológia zapojenia do tvaru hviezdy aj stromu. Z prepojovacích zariadení je prístupný len rozdeľovač (hub), v žiadnom prípade prepínač (dôvod je požiadavka na presné časovanie zbernice). [12] [13]



Obr. 15: Prepojenie Ethernet POWERLINK s prostriedkami B&R [14]

3.2.2 I/O systém X20

I/O systémy, respektíve vstupno/výstupný systémy od firmy B&R, sú všestranné a veľmi ľahko použiteľné. Systém X20 je priemyselné zariadenie, tvorené štruktúrou, ktorá je zložená z jednotlivých plátok („slice“), ktoré sú skladané vedľa seba a určené k montáži na lištu, na ktorú sú plátky prispôbené svojou konštrukciou. Obsahuje procesor, pamäť RAM a ďalšie komponenty, ktoré obsahuje bežný počítač. Po zapojení sa následne systém programuje vo vývojovom prostredí Automation Studio. Jednotlivý plátok z rady X20 sa z konštrukčného hľadiska skladá z troch častí (svorka, modul s elektronikou

a zbernicový modul (Obr. 16)). Systém X20 môžeme centralizovať aj decentralizovať, čo znamená, že si človek sám stanovuje jeho topológiu, vlastnosti a štruktúru. [15] [16]



Obr. 16: Rozdelenie modulu systému X20 [16]

Systém X20 obsahuje viacero typov modulov. Jedným z nich je CPU (Centrálna procesorová jednotka), ktorej štandardom je komunikačný protokol RS232, Ethernet Powerlink a v poslednej rade USB. CPU dokáže prepojiť až 250 vstupných a výstupných modulov a až 3000 kanálov. Riadiaci systém X20 obsahuje modul, ktorým môžeme napájať aj ostatné vstupné a výstupné moduly. Ďalším typom sú spomínané vstupné a výstupné moduly (analogové, digitálne, napájacie zdroje, meranie teploty atď.), ktoré sa skladajú zo spomínaných častí. B&R má taktiež moduly pre tzv. bezpečnostné technológie („safety“). Vzhľadom na získanie certifikátu TÜV Rheinland (certifikácia bezpečnosti), môže B&R používať technológiu „safety“ v svojich aplikáciách. Technológia pomocou inteligentnej, decentralizovanej a integrovanej bezpečnosti dokáže reagovať s veľmi krátkym časom odozvy signálu.

Spoločnosť B&R ponúka k modulárnemu systému vstupov a výstupov X20 taktiež jednotku riadiacej zbernice (bus controller) pre komunikačnú zbernicu Ethernet Powerlink (EPL). Táto komunikačná jednotka je najkompaktnejšia na trhu a má šírku 37, 5 mm. Nezaťažuje procesor (CPU) a pri prenose nevznikajú žiadne oneskorenia z dôvodu nutnosti komunikovať vo viacerých cykloch. [16]

3.2.3 Riadenie pohybu

Pri riadení pohybu používa firma Bernecker & Rainer tzv. ACOPOS (Advanced Coordinated Optimized POSitioning). ACOPOS je digitálny servozosilovač, ktorý ponúka vynikajúce vlastnosti v spojení so špičkovou technickou koncepciou firmy. Je schopný ponúknuť riešenie na báze najmodernejších vývojových trendov z hľadiska riadenia z oblasti aplikácia či už sa jedná o CNC alebo riadenia jednej a viacerých osí. ACOPOS môžeme použiť k riadeniu synchronných aj asynchronných motorov s napájacím napätím 3 x 400 V v prúdovej, rýchlostnej a polohovej slučke. Súčasťou každého frekvenčného meniča sú integrované brzdné rezistory a anti-rušivé filtre EMC

(Electromagnetic Compatibility). Výborné riadiace vlastnosti sú zaistené použitím signálového procesoru (DSP) s rýchlosťou 128 Mflops, ktorý poskytuje dostatočný výkon pre výpočet všetkých parametrov pohybu a sleduje zaťaženie výkonných častí servopohonu, podľa ktorých sa riadia jeho funkcie. Vlastný pohyb je riadený pomocou PWM (pulzná šírková modulácia) napájacieho napätie motorov so základnou frekvenciou 20 kHz, ktorá zaisťuje presnú realizáciu vypočítaných akčných zásahov.

Štandardne sú servozosilovače ACOPOS dodávané so synchronnými bezkartáčovými motormi, ktoré môžu byť v rôznom mechanickom prevedení podľa špeciálnych požiadavkou zákazníka. Obecne platí, že svojimi vlastnosťami vyhovujú charakteristike výrobku B&R (výborná kvalita a špičkové technické parameter).

Spätná väzba je uskutočnená pomocou snímaču polohy EnDat. Kombinujúca princíp absolútnych a inkrementálnych snímačov zaisťuje pri rozlíšení cez 500 000 inkrementov na otáčku naproste rovnomerné a presné riadenie pohybu. Okrem snímaču EnDat je možné použiť tzv. resolver aj bežný inkrementálny alebo absolútny snímač polohy. [17]



Obr. 17: ACOPOSMicro a servomotor od firmy B&R [18]

3.2.4 Priemyselné počítače

Firma B&R ponúka širokú škálu rôznych typov priemyselných počítačov začínajúcich od menej výkonných až po vysokovýkonné. Priemyselné počítače od spoločnosti sú vybavené výkonnými procesormi firmy Intel (jednojadrový až štvorjadrový typu Core i7), ktoré majú dostatočnú rezervu výkonu a dokážu zvládnuť aj tie najnáročnejšie aplikácie (záleží od typu procesora). Zabudovaný Ethernet Powerlink zaisťuje vysokorýchlostnú komunikáciu a porty na USB slúžia na pripojenie periférnych zariadení a kopírovanie softwaru, dát. Každé zariadenie je vybavené slotom na Compact Flash (CF), prípadne CFast. Modulárna konštrukcia zariadenia uľahčuje používanie v rôznych topológiách. Priemyselné PC môže byť vybavené operačným systémom pracujúcim

v reálnom čase, ako je B&R Automation Runtime alebo štandardnými operačnými systémami ako sú Windows XP, Windows 7, či dokonca Linux. V prípade viac jadrového procesoru je možné nainštalovať Automation Runtime a aj Windows, či Linux.

Panely B&R sú konštruované s ohľadom na prísne požiadavky na odolnosť a používanie v drsnom priemyselnom prostredí. Dôraz sa však kladie tiež na to, aby ich bolo možné používať aj v stiesnených priestoroch. Preto existujú rôzne typy vzhľadom na veľkosť, dizajn atď. Display je zapustený do rámu bez hrán, čím zabraňuje usadzovaniu nečistôt a zjednodušuje údržbu. LED podsvietenie zvyšuje efektivitu a zreteľnosť zobrazenia. Veľká výhoda je aj kompatibilita pri výmene za iný druh vizualizačnej obrazovky. Napriek vysokému výkonu nemajú panely žiadne pohyblivé súčiastky, ak sú napr. ventilátor či pevný disk. [18]



Obr. 18: Priemyselný počítač od firmy B&R a display na spodnej strane [19]

3.3 Vývojové prostredie Automation studio V4

Automation Studio (AS) je vývojové prostredie vytvorené firmou B&R v roku 1997. Dnes už štvrtá generácia tohto nástroja, ktorého základná myšlienka bolo vytvoriť jedno vývojové prostredie pre programovanie všetkých produktov potrebných k automatizácii technologického procesu (riadiaca jednotka, vizualizácia HMI atď.) čím minimalizuje náklady, upevňuje celkovú integráciu a eliminuje problémy s komunikáciou. AS ponúka vývoj softwaru pred kompletným zostavením hardwaru a znovu-použiteľnosť softwarových modulov vo viacerých projektoch, taktiež funkčné overenie pomocou simulácie a následné uvedenie do reálneho hardwaru, ktorého veľká výhoda je šetrenie času. Ďalšou výhodou je plná grafická hardwarová konfigurácia a modulárnosť softwaru na všetkých úrovniach, čo zľahčuje vývoj strojov a systémov, ktoré využívajú výhody predčasne naprogramovaných komponentov. Automation Studio V4 ako jediný nástroj

pre stroje a systémy prináša bezprecedentný rád špičkových funkcií, ktoré podporujú všetky fázy vývoja produktu. To umožňuje vývojárom zvládnuť rastúcu zložitosť systému a dodržiavať heslo „rýchlo, efektívne a v špičkovej kvalite“.



Obr. 19: Idea Automation studia V4 – „jeden nástroj pre všetko“ [21]

AS V4 umožňuje programovanie vo všetkých jazykoch IEC 61131-3 (Ladder diagram, Structured text, Instruction list atď.), CFC a ANSI C, či napríklad objektovo orientovaný ANSI C++. To umožňuje programátorom vybrať si preferovaný jazyk alebo napríklad možnosť programovať aplikáciu pomocou rôznych jazykov a spájať ich do jedného programu. Programovanie v AS zjednodušuje dostupnosť PLCopen funkčných blokov, napríklad pre riadenie pohybu a bezpečnostnú techniku.

Automation studio je schopné v počiatočnom vývoji programu využívať rôzne modely, ktorých funkcie sú generované na základe údajov zo simulácie napr. CAD modely. AS vďaka spolupráci s firmou *The MathWorks* vyvinula *Automation Studio Target for Simulink*, ktorý dokáže cez program MATLAB komunikovať s produktami B&R a taktiež je schopné automaticky generovať kód do programovacieho jazyka ANSI C alebo Structured text.

S možnosťou priamej integrácie všetkých zbernícových systémov, AS otvára celé spektrum dostupných periférií a poskytuje optimálnu podporu pre integráciu systému tretích strán. Bezpečné riešenie založené na openSAFETY, taktiež naprogramované v AS je 100% nezávislý komunikačný protokol dostupný pre všetky riešenia priemyslového Ethernetu. Uľahčuje implementáciu bezpečnostných opatrení podľa platnej normy 2006/42/ES a ďalších. OpenSAFETY je jediný bezpečnostný protokol na svete, ktorý vie prenášať zabezpečené dáta pomocou akejkoľvek zbernice pri použití princípu Black Channel. Pri programovaní bezpečnostného systému sa používa prídavný nástroj k AS,

ktorý má názov SafeDESIGNER (SD). Funkčné bloky SD sú normalizované a určené na dané programovanie. Nástroj SD oddeľuje program pre bezpečnostný systém od hlavného programu a tým zabezpečuje väčšiu prehľadnosť. Dáta súvisiace s bezpečnostným systémom sú ukladané do funkcie *SafeContainer*, kde sa užívateľ/programátor dostane iba v prípade, že disponuje so špeciálnymi prístupovými právami. [21] [22]



Obr. 20: Automation studio V4 – nástroje pre tvorbu aplikácie [21]

4 ÚPRAVA ROBOTIZÁCIE STOLNÉHO FUTBALU

V kapitole Úprava robotizácie stolného futbalu sa budem venovať predstaveniu súčasného riešenia, ktoré bolo navrhnuté predošlým tvorcom práce. Ďalšia časť kapitoly sa zaoberá úpravou konštrukcie hernej osi stolného futbalu, návrhom softwaru pre otestovanie vlastného riešenia pomocou záťažového testu a v neposlednej rade návrhom riešenia pre ďalšie osi stolného futbalu (návrh veľkosti normalizovaných tyčí pre lineárne motory, návrh veľkostí zvyšných častí konštrukcie atď.). Súčasťou kapitoly bol výber zvyšných chýbajúcich hardwarových komponentov a taktiež návrh a realizácia elektrického zapojenia. Posledná časť kapitoly bude venovaná predstaveniu spolupracujúcich projektov, ktoré sú riešené formou bakalárskych prác.

4.1 Súčasné riešenie robotického stolného futbalu

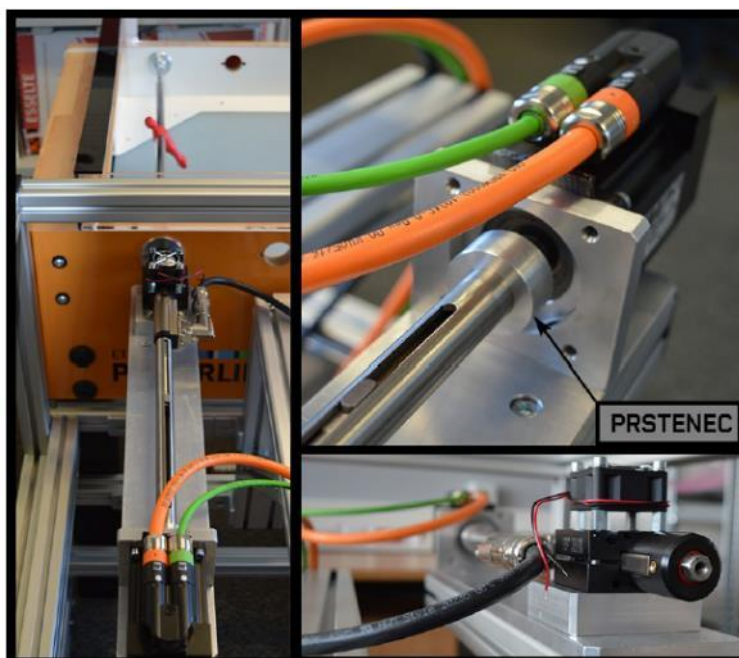
Pri súčasnom riešení stolného futbalu, ktoré bolo navrhnuté predošlým tvorcom práce, bol kladený najväčší dôraz na konštrukčnú stránku. Predošlý tvorca práce navrhol základnú konštrukciu robotizácie stolného futbalu. Výsledkom riešenia bol výber motorov (rotačného a lineárneho) a konštrukčné riešenie uloženia. Ďalším výsledkom práce bol návrh základných komponentov pre spustenie a otestovanie riadenia jednej osi stolného futbalu. Súčasný hardwarový komponenty na robotickom stolnom futbale sú znázornené v Tab. 1.

Tab. 1: Súčasný hardwarový komponenty robotického stolného futbalu

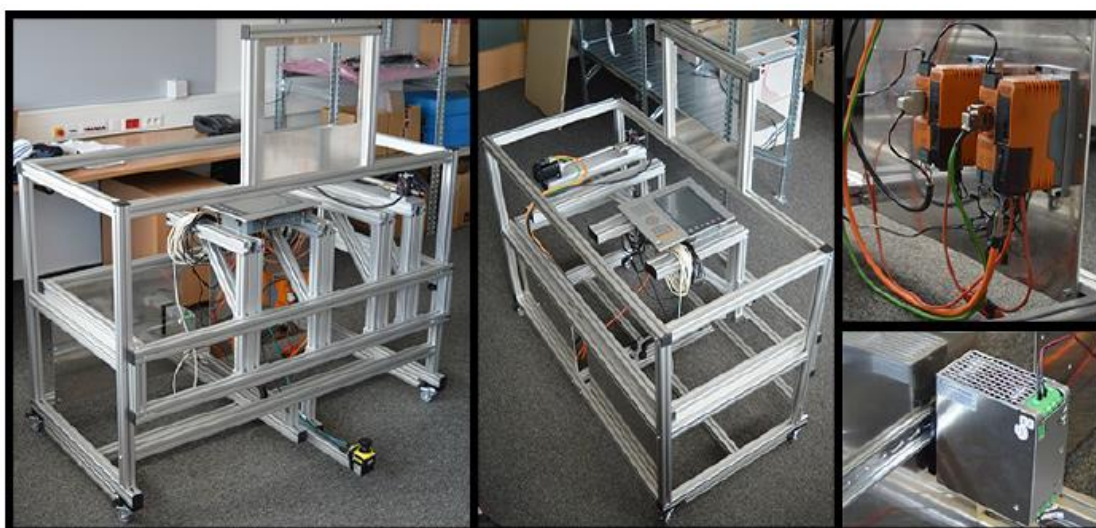
Hardwarové komponenty		
Zdroj 80 V	SPH500 - 7207	1 ks
Servozosilovač - Servo	80VD100PD.C000 – 01	1 ks
Servozosilovač – Linmot	80VD100PD.C188 – 01	1 ks
Motor – B&R	8LVA23.B1030D1	1 ks
Motor – Linmot (magnetická tyč, chladenie atď.)	P01 – 23x80/210x270	1 ks
Svetelná brána	SL2 – 24 – 0720 DATALOGIC	2 ks
Kamera	Cognex – Insight 7402	1 ks
Snímače pre bránky	OESV 19 K 200 P3K di - soric	2 ks

Konštrukčné riešenie návrhu motorov a elektrické zapojenie jednotlivých komponentov môžeme vidieť na Obr. 21 a Obr. 22. Môžeme si všimnúť, že pri návrhu bol kladený dôraz na skutočnosť, že bude potrebné prenášanie stolného futbalu a preto je možné rozdeliť konštrukciu na dve časti.

Softwarovej časti súčasného riešenia robotického stolného futbalu som sa nezaoberal. Jednak z dôvodu, že riešenie bolo navrhnuté v jazyku ST (*Structured text*) a jednak z dôvodu, že dané riešenie bolo nedostatočné a pre môj návrh a implementáciu nepotrebné. [23] [24]



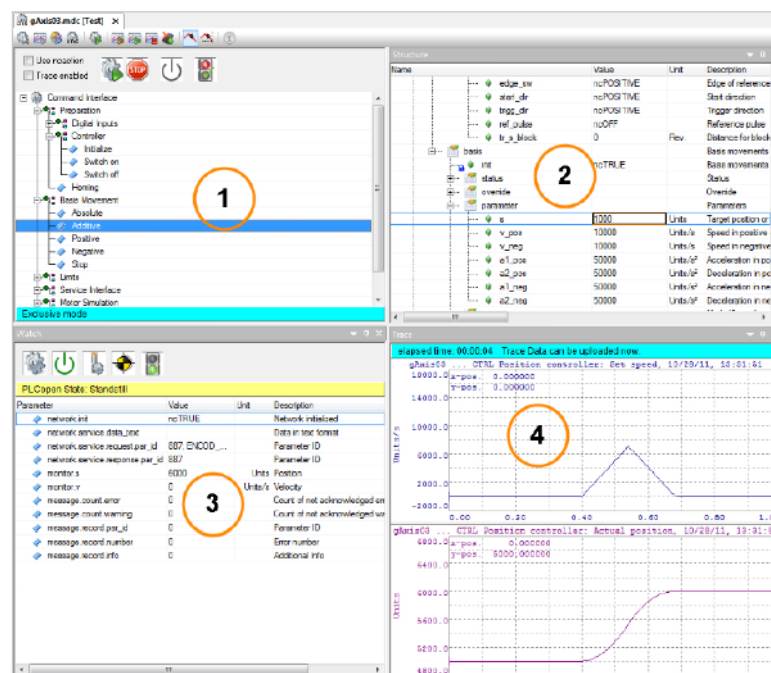
Obr. 21: Súčasné riešenie uloženia motorov hernej osi [23]



Obr. 22: Konštrukcia stolného futbalu a elektrické zapojenie komponentov [24]

4.2 Úprava konštrukcie hernej osi

Pri úprave konštrukcie hernej osi bolo potrebné na začiatku zistiť, či je potrebné navrhovať úpravy hernej osi alebo či je možné navrhnuté riešenie predošlým tvorcom aplikovať na zvyšné osi. Pre otestovanie súčasného riešenia sme si vo vývojovom prostredí Automation Studio vytvorili hardwarovú konfiguráciu riadiacej sústavy, spojili sa s riadiacim PLC a nadviazali komunikáciu. Pre pohyb osí a jednoduchý test sme použili diagnostický nástroj, ktorý je súčasťou Automation Studia (*NC Test* Obr. 23).



Obr. 23: Diagnostický nástroj NC Test

1. Príkazové rozhranie

Pomocou príkazového rozhrania je možné spúšťať, zastavovať a používať rôzne ďalšie funkcie pre riadenie jednotlivých motorov.

2. Okno parametrov

Okno parametrov je vlastne štruktúra jednotlivých parametrov motora, je v ňom možné nastavovať rýchlosti, zrýchlenia, pozície parametrov motoru atď.

3. NC Watch – sledovacie okno parametrov

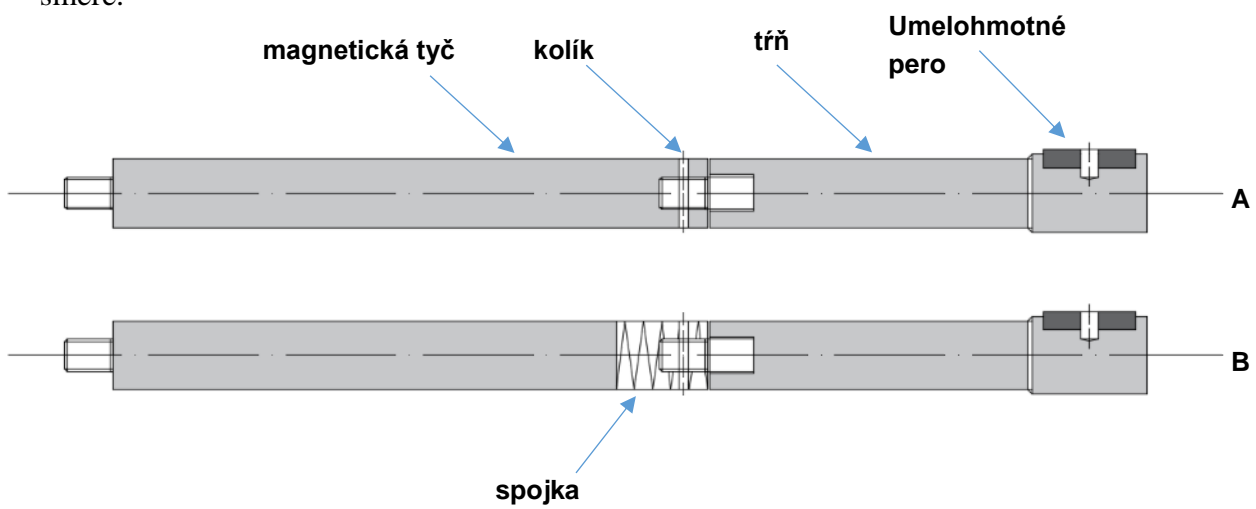
NC Watch je sledovacie okno, ktoré znázorňuje chybu na jednotlivej osi, momentálnu pozíciu, rýchlosť atď. v reálnom čase

4. NC Trace – vykresľovanie priebehov v grafe

NC Trace je sledovacie okno, ktoré znázorňuje priebeh pozície, rýchlosti, zrýchlenia, chyby atď. v reálnom čase na grafe

Pri testovaní osí (lineárnej, rotačnej) pomocou diagnostického nástroja sme zistili až tri základné chyby, ktoré bolo potrebné vyriešiť. Prvá veľmi dôležitá chyba, bola ťažký priechod lineárnej osi, čoho dôsledkom bolo veľké zaťažovanie lineárneho motoru. Ďalšie dve chyby sa týkali rotačnej osi, kde pri rotačnom pohybe vypadávalo oceľové pero z drážky dutého hriadeľa a pri veľkej rýchlosti rotačného pohybu sa trň, ktorý je naskrutkovaný do magnetickej tyče samovoľne odskrutkoval a tým pádom sa oddelila časť trňa od časti magnetickej tyče, čo pôsobilo na prvý pohľad pri vysokej rýchlosti veľmi nebezpečne.

Prvý návrhom a následnou realizáciou bola výmena oceľového pera za umelohmotné, čo zabezpečilo hladší priebeh osi v lineárnom smere a následne proti vypadávaniu pera bolo navrhnuté prevrtanie pera a trňa, čo zabezpečilo pevné uloženie. Ďalšou časťou bolo prevrtanie magnetickej tyče a trňa a následné vloženie kolíka medzi tieto dve časti. Kolík sa pri vkladaní roztáhuje, čo zabezpečuje pevné uloženie voči odskrutkovaniu. Navrhnuté a zrealizované zmeny vidíme na Obr. 24 A, ktoré boli použité pre konštrukcie osí brankár, stredopoliar. Tieto úpravy však neboli dostačujúce pre dlhšie osi konštrukcií uloženia (obranca, útočník), preto sa navrhlo ďalšie riešenie, ktoré bolo rozšírené o spojku vid'. Obr. 24 B, čo zabezpečilo hladší priebeh pohybu v lineárnom smere.



Obr. 24: Navrhnuté zmeny konštrukcie trňa a magnetickej tyče

Pre jednoduchší pohyb osi bola navrhnutá gumená podložka pod prírubu, ktorá drží konštrukciu rotačného motoru. Pri ďalších realizáciách zjednodušenia pohybu bolo pomocou rôznych pokusov skúšanie uvoľňovania jednotlivých komponentov konštrukcie hernej osi. Reálne riešenie môžeme vidieť na Obr. 25 (Typ A, B) a Obr. 26.



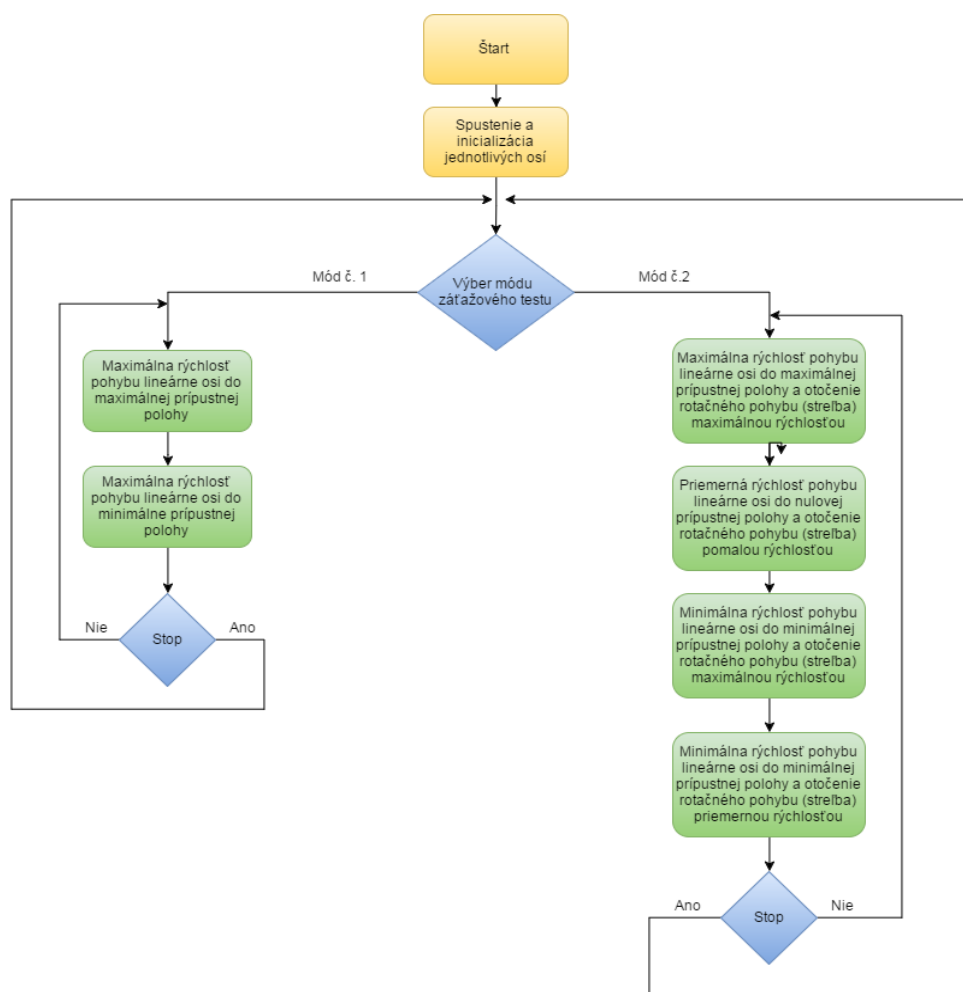
Obr. 25: Úprava hernej osi – pohľad z hora



Obr. 26: Úprava hernej osi – pohľad z boku

4.3 Testovanie úprav konštrukčného riešenia

Pri testovaní úprav bol navrhnutý algoritmus pre záťažový test. Algoritmus bol navrhnutý z dôvodu, ktorý mal odhaliť prípadné ďalšie nedostatky. Pri záťažovom teste boli navrhnuté dva rôzne módy, ktorých cieľ bol odhaliť chyby. Vývojový diagram a popis realizácie navrhnutého záťažového testu je znázornený na Obr. 27.



Obr. 27: Vývojový diagram popisu realizácie záťažového testu

Zátťažový test prebehol vo viacerých cykloch vo dvoch po sebe idúcich dňoch, kde každý cyklus trval približne hodinu. Testovali sa rôzne fakty, ktoré mali odhaliť chybovosť, prípadné veľké prehrievanie lineárneho motoru, dôsledok ktorého by bola výmena lineárneho motoru za iný typ. Výsledok testu bol pozitívny. Priebeh lineárnej osi bol dostačujúci rovnako ako pri priebehu rotačnej osi. Prehrievanie lineárneho motoru bolo minimálne, a vzhľadom na skutočnosť, že pri lineárnom motory budeme používať prídavné chladenie pomocou ventilátora, môžeme toto prehrievanie považovať za nulové.

Vzhľadom na výsledok záťažového testu môžeme úpravy považovať sa úspešné a následne aplikovať riešenie na zvyšné tri osi. Pri úprave zvyšných osí treba dbať na rôzne veľkosti jednotlivých osí a teda navrhnuť úpravy rozmerov magnetických tyčí a zvyšných komponentov konštrukcie hernej osi. Jednotlivé návrhy zvyšných osí aj s rozmermi magnetických tyčí sú zobrazené v Prílohe A – Výkresová dokumentácia.



Obr. 28: Úprava hráčskych tyčí pre zvyšne osi robotického futbalu



Obr. 29: Úprava konštrukcie motorov zvyšných hráčskych osí

4.4 Výber zvyšných hardwarových komponentov

Podkapitola výber zvyšných komponentov bola zameraná na výber a popis jednotlivých hardwarových komponentov, ktoré budú použité na robotickom stolnom futbale. Tab. 2 znázorňuje použité zvyšné komponenty, ktoré boli navrhnuté a doobjednané k stolnému futbalu.

Tab. 2: Zvyšné hardwarové komponenty použité na robotickom stolnom futbale

Hardwarové komponenty		
Zdroj 80 V	SPH500 - 7207	1 ks
Zdroj 24 V	0PS1100.1	1 ks
Servozosilovač - Servo	80VD100PD.C000 – 01	1 ks
Servozosilovač – Linmot	80VD100PD.C188 – 01	1 ks
Motor – B&R	8LVA23.B1030D1	3 ks
Motor – Linmot (magnetická tyč, chladenie atď.)	P01 – 23x80/210x270	1 ks
	P01-23x80/280x340	1 ks
	P01-23x80/340x400	1 ks
Systém X20	X20BB80	1 ks
	X20BC0083	1 ks
	X20PS9400	1 ks
Systém X20 – I/O	X20cDI9371	1 ks
	X20cDO9321	1 ks
	X20AI2632	1 ks
	X20AI2622	1 ks
Systém X20 – Safety	X20cSLX842	1 ks
Užívateľský panel PC a riadiaca jednotka	5AP933.156B-00	1 ks
	5PPC2100.BY44-000	1 ks
	5ACCIF01.FPLS-000	1 ks
Reflexné snímače	WL2S-2P3230	4 ks
Optické snímače	FADK 14/4470/S14/IO	4 ks
Osvetlenie	LL – 735	2 ks

4.4.1 Zdroj pre napájanie servozosilovačov

Pre napájanie servozosilovačov bolo z hľadiska nedostatočného výkonu jedného zdroja pre všetky štyri servozosilovače pridaný do hardwarových komponentov ďalší napájací zdroj typu SPH500-7207 (Obr. 30). Tým pádom pre napájanie dvoch servozosilovačov použijeme jeden napájací zdroj. Parametre napájacieho zdroja sú znázornené v tabuľke č. 3.

Tab. 3: Parametre napájacieho zdroja SPH500-7207 [25]

SPH500-7207	
Typ	AC/DC
Vstupné napätie	120/230 V
Počet fáz	1
Rozsah výstupného napätia	54 – 80 V
Maximálny výkon	480 W

Maximálny prúd	6,7 A
Maximálne zvlínenie výstupného napätia	120 mVpp
Účinnosť	88%
Rozsah pracovných teplôt	-25 až 70°C
Hmotnosť	1 kg
Rozmery	125x121x62 mm



Obr. 30: Napájací zdroj SPH500-7207 [25]

4.4.2 Zdroj pre napájanie elektrických zariadení

Pre napájanie zvyšných elektrických zariadení, ktoré sa nachádzajú na stolnom futbale sme využili zdroj od firmy B&R (0PS1100.1), ktorý môžeme vidieť na Obr. 31. Parametre napájacieho zdroja sú znázornené v tabuľke č. 4.

Tab. 4: Parametre napájacieho zdroja 0PS1100.1 [26]

0PS1100.1	
Typ	VAC/VDC
Vstupné napätie	AC 85 - 264 V (široký rozsah), 45 - 65 Hz
Počet fáz	1
Rozsah výstupného napätia	22.5 - 29.5 VDC
Maximálny výkon	240 W
Maximálny prúd	10 A
Účinnosť	89%
Rozsah pracovných teplôt	-25 až 70°C
Hmotnosť	1,1 kg
Rozmery	60x130x152,5 mm



Obr. 31: Napájací zdroj 0PS1100.1 [26]

4.4.3 Servozosilovače

Pre riadenie zvyšných motorov boli zvolené servozosilovače (typ servozosilovača Acopos Micro) rovnakého typu ako v súčasnom riešení. Pre rotačný motoru (Servo) bol zvolený servozosilovač typu 80VD100PD.C000-01 a pre lineárny motor (LinMot) bol zvolený servozosilovač typu 80VD100PD.C188-01, ktorý je priamo navrhnutý pre riadenie lineárnych motorov od firmy LinMot. Oba servozosilovače používajú komunikačný protokol Powerlink.



Obr. 32: Servozosilovač firmy B&R – Acopos Micro [27]

Tab. 5: Parametre servozosilovača Acopos micro pre typ Servo, LinMot [27]

80VD100PD.C000-01, 80VD100PD.C188-01	
Napájanie motorov	od 24 V do 64 V \pm 25%
Nominálny prúd	8 A_{RMS}
Spínacie frekvencie	5, 10 alebo 20 kHz
Rozhranie enkodéra	EnDat V 2.2

Napájanie vnútornej logiky	24 V
Komunikačné rozhranie	Powerlink
Periódá regulátora (vnútorný cyklus)	50 μ s

4.4.4 Motory

Pre riadenie herných osí boli predošlým riešiteľom navrhnuté dva typy motorov. Pre riadenie rotačnej osi bol navrhnutý motor od firmy B&R (8LVA23.B1030D100-0) a pre riadenie lineárnej osi motor od firmy LinMot (P01-23x80). Podľa predošlej podkapitoly 4.3 Testovanie úprav konštrukčného riešenia bolo zistené, že oba motory sú vyhovujúce a teda ich môžeme použiť pre ďalší vývoj.

Tab. 6: Parametre rotačného motoru B&R

8LVA23.B1030D100-0	
Nominálna rýchlosť	3000 rpm
Počet párových dvojíc	4
Nominálny moment	1,3 Nm
Nominálny výkon	408 W
Nominálny prúd	5,8 A
Maximálny moment	4 Nm
Maximálny prúd	20,7 A
Maximálna rýchlosť	6600 rpm
Momentová konštanta	0,23 Nm/A
Napäťová konštanta	13,6 V/1000 rpm
Odpor statorového vinutia	0,83 ohm
Indukčnosť statora	2 mH
Elektrická časová konštanta	2,41 ms
Tepelná časová konštanta	38 min
Moment zotrvačnosti	0,26 $Kgcm^2$
Hmotnosť (bez brzdy)	1,05 kg
Moment držania brzdy	2,2 Nm
Hmotnosť brzdy	0,16 kg
Moment zotrvačnosti brzdy	0,12 $Kgcm^2$



Obr. 33: B&R rotačný motor - 8LVA23.B1030D100-0

Tab. 7: Parametre lineárneho motoru LinMot

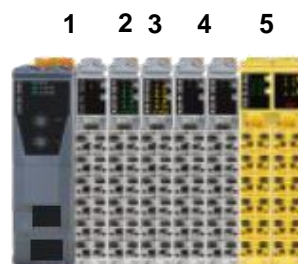
P01-23x80	
Maximálna sila	44 N
Maximálny prúd	4 A
Ohmický odpor 25/80°C	10,3/12,5 ohm
Indukcia	1,4 mH
Tepelný odpor	7 K/W
Časová konštanta	1600 s
Priemer statoru	23 mm
Dĺžka statoru	162 mm
Priemer bežca	12 mm



Obr. 34: LinMot lineárny motor - P01-23x80

4.4.5 Systém X20

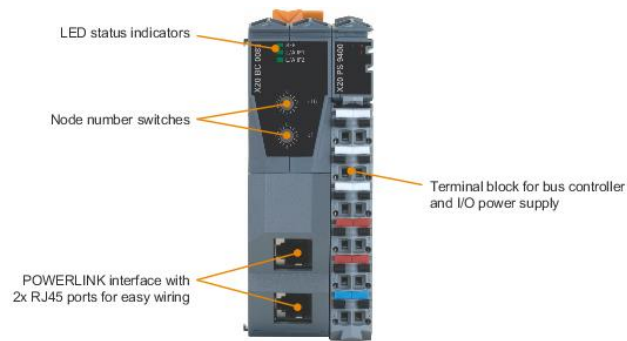
X20 I/O systémy, respektíve vstupný/výstupný systémy od firmy B&R boli doplnené v hardwarovej konfigurácii z dôvodu využiteľnosti senzorov, optickej brány pre bezpečnosť a ďalších komponentov. Konfiguráciu systému X20 nachádzajúceho sa na robotickom stolnom futbale vidíme na Obr. 35. [28]



Obr. 35: Konfigurácia modulov X20 [28]

1. Komunikačný modul X20BC0083 a modul X20PS9400

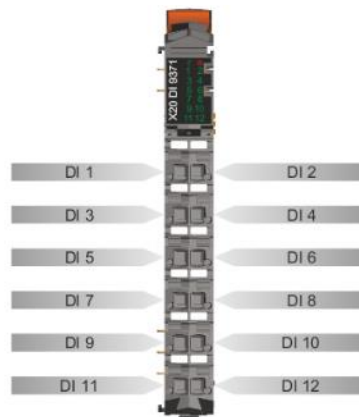
Modul slúži pre komunikáciu z riadiacou jednotkou a zároveň pomocou modulu X20PS9400 môžeme napájať zvyšné moduly v konfigurácii, ktoré vidíme na Obr. 35.



Obr. 36: Modul X20BC0083 a X20PS9400 [28]

2. Modul pre digitálne vstupy X20DI9371

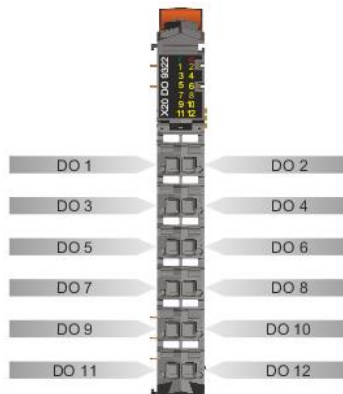
Slúži pre digitálne vstupy ako sú napr. hodnoty z reflexného snímača, či zo snímača pre detekciu gólu atď. Obsahuje 12 digitálnych vstupov.



Obr. 37: Modul X20DI9371 [28]

3. Modul pre digitálne výstupy X20DO9322

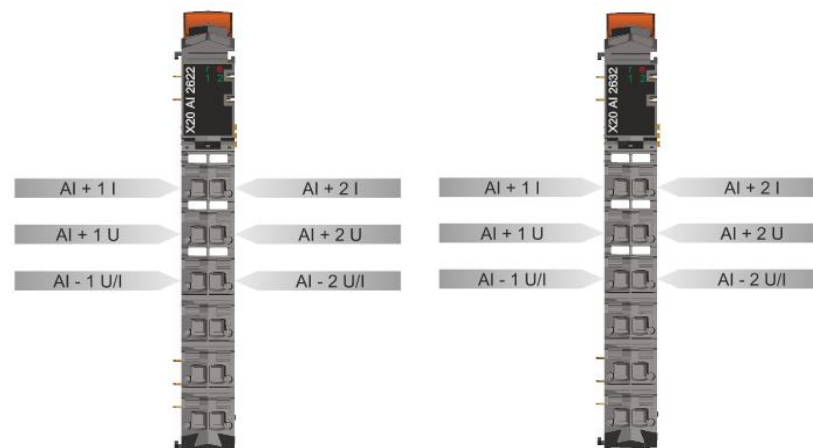
Slúži pre digitálne výstupy ako sú napr. spúšťanie PWM (*Pulse width modulation*), spúšťanie ventilátorov pre chladenie lineárnych motorov atď. Obsahuje 12 digitálnych výstupov.



Obr. 38: Modul X20DO9322 [28]

4. Moduly pre analógové vstupy X20AI2622, X20AI2632

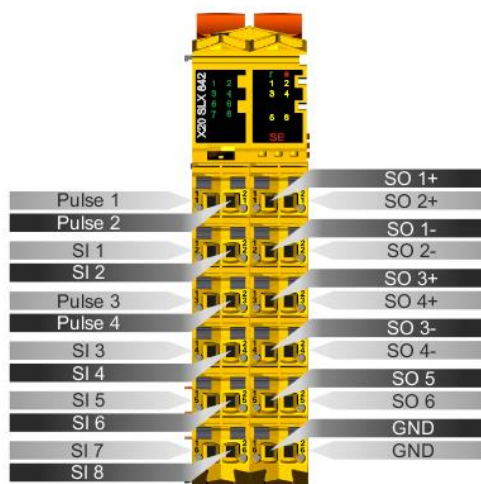
Slúži pre analógové vstupy, v našom prípade sú to analógové hodnoty z optického snímača pre meranie hodnoty vzdialenosti pozície hráča súpera. Každý modul obsahuje dva analógové vstupy.



Obr. 39: Modul X20AI2622 – pravá časť obrázku, modul X20AI2632 ľavá časť obrázku [28]

5. Modul pre bezpečnostné vstupy/výstupy X20SLX842

Nový typ modulu, ktorý obsahuje konektory pre bezpečnostné vstupy a zároveň aj pre bezpečnostné výstupy. Slúži pre E-Stop tlačidlo, optickú bránu, ktoré sú používané pri vstupoch a spúšťanie motorov (*Enable*) pomocou výstupu z modulu.

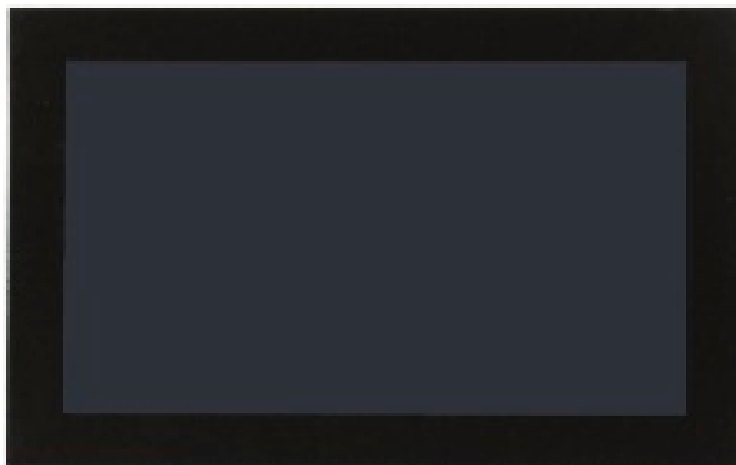


Obr. 40: Bezpečnostný modul X20SLX842 [28]

4.4.6 Uživateľský panel PC

Uživateľský panel PC (Obr. 41) je veľmi dôležitou časťou robotického stolného futbalu, keďže veľký dôraz je kladený aj na vizuálnu stránku aplikácie. Pre príjemný dojem bol

zvolený čierny matný panel veľkosti 15,6". Panel PC slúži pre monitorovanie, diagnostiku, ovládanie, nastavovanie stolného futbalu. Užívateľský panel PC bol objednaný spolu s riadiacou a výpočtovou jednotkou (Obr. 42). Dôraz bol kladený vzhľadom na náročnosť riadiaceho programu, ktorý má zvládať náročnejšie výpočty a zároveň musí zvládať nový typ vizualizácie mappView. Pri výbere sa taktiež dbal dôraz na skutočnosť, že vizualizáciu mappView je potrebné spúšťať na operačnom systéme Windows a tým pádom bola vybraná riadiaca jednotka, ktorá má štvorjadrový procesor Intel Atom.



Obr. 41: Užívateľský panel PC [29]

Tab. 8: Parametre užívateľského panelu PC [29]

5AP933.156B-00	
Veľkosť displeja	15,6"
Počet farieb	16,7 miliónov
Rozlíšenie	HD, 1366 x 768 px
Typ	LED
Farba dizajnu	Čierna matná
Rozmery	414 x 258,5 mm
Hmotnosť	3,85 kg



Obr. 42: Riadiaca jednotka PC 2100 [30]

Tab. 9: Parametre riadiacej jednotky PC 2100 [30]

5PPC2100.BY44-000	
Typ procesoru	Intel Atom E3845
Časová frekvencia	1910 MHz
Počet jadier	4
Presnosť reálneho času	Pri teplote 25 ° C: typ. 12 ppm (1 sekundu) za deň
Grafika	Intel HD
Pamäť	4 GB DDR3
Nominálne napätie	24 VDC ± 25%
Nominálny prúd	3,5 A
Rozmery	190 x 115 x 29,7 mm
Hmotnosť	0,577 kg

4.4.7 Zhrnutie návrhu komponentov robotického stolného futbalu

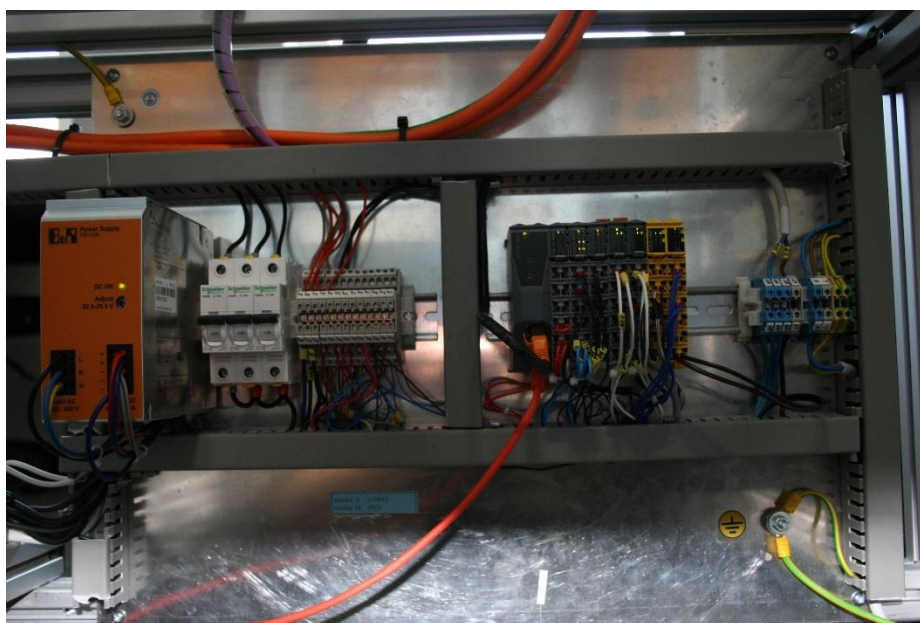
Po navrhnutí a objednaní všetkých hardwarových komponentov bolo zrealizované elektrické zapojenie jednotlivých komponentov robotizácie stolného futbalu. Návrh a presná podoba elektrického zapojenia všetkých hardwarových komponentov robotického stolného futbalu je znázornená v Prílohe A - Výkresová dokumentácia. Reálna podoba jednotlivých komponentov nachádzajúcich sa na stolnom futbale môžeme vidieť na pár obrázkoch, ktoré sa nachádzajú pod textom. V Prílohe B – sú znázornené fotografie rôznych konštrukčných prvkov a celej konštrukcie robotického stolného futbalu.



Obr. 43: Uživatelský panel PC



Obr. 44: Zapojenie servozosilovačov a zdrojov pre napájanie 80 V



Obr. 45: Zapojenie systému X20 a zdroju pre napájanie el. zariadení 24 V

4.5 Spolupracujúce projekty pri riešení problému robotického futbalu

Vzhľadom na obsiahlosť a náročnosť problému boli pre riešenie robotického stolného futbalu navrhnuté ďalšie dve práce. Obe práce boli bakalárske, kde jedna z nich sa zaoberala detekciou loptičky a druhá detekciou polohy protihráča. V podkapitole si obe

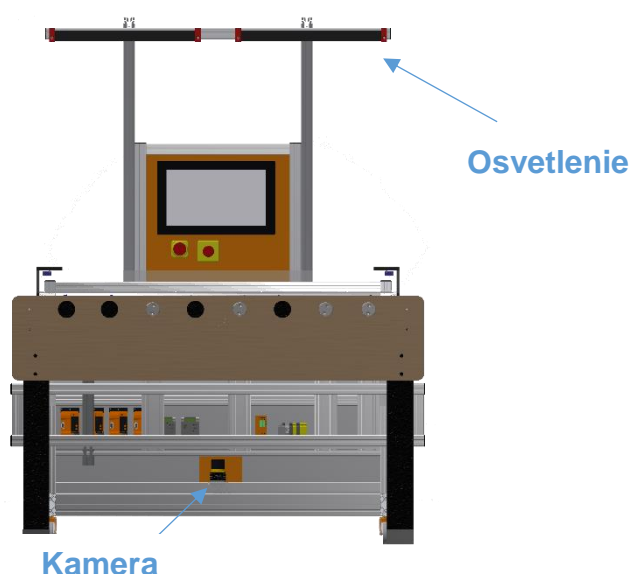
práce predstavíme a v krátkosti si zhrnieme ich obsah. Podrobnejšiu verziu daných bakalárskych prácí je možné nájsť v bibliografických odkazoch [31], [32].

4.5.1 Detekcia loptičky

Bakalárska práca p. Bubeníka z Fakulty elektrotechniky a komunikačných technológií sa zaoberala detekciou loptičky pomocou kamery od firmy Cognex (In Sight 7000) vid'. Obr. 46. Práca zahrňovala správne vysvietenie hráčskej plochy a výber správneho osvetlenia, pre ktoré sa následne vytvorilo prispôsobenie na konštrukcii. Kamera pre detekciu loptičky sa nachádza pod hracou plochou stola a osvetlenie sa nachádza nad hracou plochou. Spoločne s p. Bubeníkom sme sa rozhodli upraviť konštrukciu predošlej práce a znížiť uchytienie pre kameru z dôvodu, že pri predošlej výške nebolo možné detegovať celú plochu. Ďalej sme vytvorili návrh pre formu kamery, ktorý je taktiež viditeľná na Obr. 46. Model robotického stolného futbalu s umiestnením jednotlivých komponentov môžeme vidieť na Obr. 47.

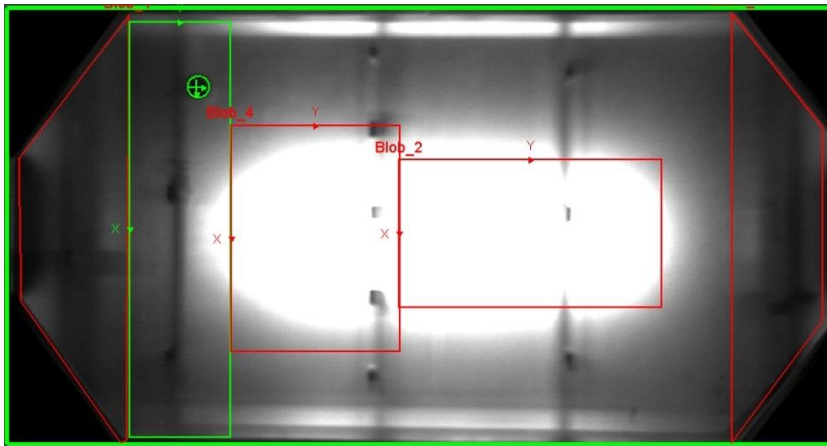


Obr. 46: Cognex In Sight 7000 [31]



Obr. 47: Model robotického stolného futbalu

Po softwarovej stránke bolo cieľom bakalárskej práce vytvoriť knižnicu v zvolenom programovacom jazyku, ktorá bude komunikovať s riadiacou jednotkou PLC a posilať pozície loptičky z kamery do riadiacej jednotky. Ukážku softvéru pre detekciu loptičky môžeme vidieť na Obr. 48. Výsledok riešenia p. Bubeníka bola detekcia loptičky rýchlosťou 70 snímok za sekundu, čo je približne 3 – krát rýchlejšie riešenie ako riešenie predošlej práce. Výstupy vytvorenej funkcie sú mnou spracovávané pre ďalšie počítanie. [31]



Obr. 48: Ukážka softvéru pre detekciu loptičky [31]

4.5.2 Detekcia polohy protihráča

Bakalárska práca p. Otradvského z Fakulty strojnínho inžénýrství sa zaoberala detekciou polohy protihráča. Cieľom práce bolo navrhnúť vhodné konštrukčné riešenie pre detekciu polohy protihráča, jednak pre polohu vzdialenosti jednotlivých osí a jednak pre polohu natočenia. Pre detekciu vzdialenosti bol použitý optický snímač od firmy Baumer a pre detekciu polohy bol použitý reflexný snímač od firmy Sick. Pri detekcii polohy natočenia bola použitý digitálny výstup, kde sa zisťovalo či ľudský hráč zabraňuje prechodu loptičky. Konštrukčné riešenie môžeme vidieť na Obr. 49 a Obr. 50.



Obr. 49: Konštrukčné riešenie polohy protihráča zo zadnej časti

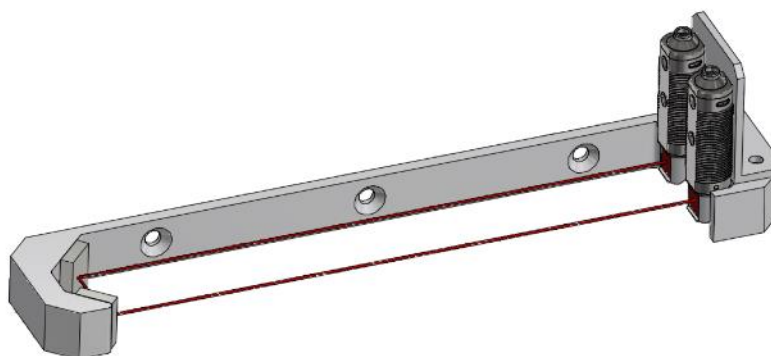


Obr. 50: Konštrukčné riešenie polohy protihráča z prednej časti

Po softwarovej stránke bolo cieľom bakalárskej práce vytvoriť knižnicu v zvolenom programovacom jazyku, ktorá bude komunikovať s riadiacou jednotkou PLC a posielat' pozície vzdialenosti a pozície natočenia z jednotlivých senzorov. Výstupy vytvorenej funkcie sú mnou spracovávané pre ďalšie počítanie. [32]

4.5.3 Detekcia vstreleného gólu

Pri detekcii vstreleného gólu spolupracovali oba predošle spomínaný bakalári, ktorých cieľom bolo uchytiť konštrukčné riešenie na robotický stolný futbal. Ďalej navrhnuť knižnicu pre komunikáciu s riadiacou jednotkou PC, ktorá bude posielat' digitálne hodnoty zo senzorov, ktoré sa nachádzajú v jednotlivých bránkach, o stave, či momentálne bol vstrelený gól. Výstupy vytvorenej funkcie sú mnou spracovávané pre ďalšie počítanie.



Obr. 51: Konštrukčné riešenie detekcie vstreleného gólu

5 SIMULÁCIA

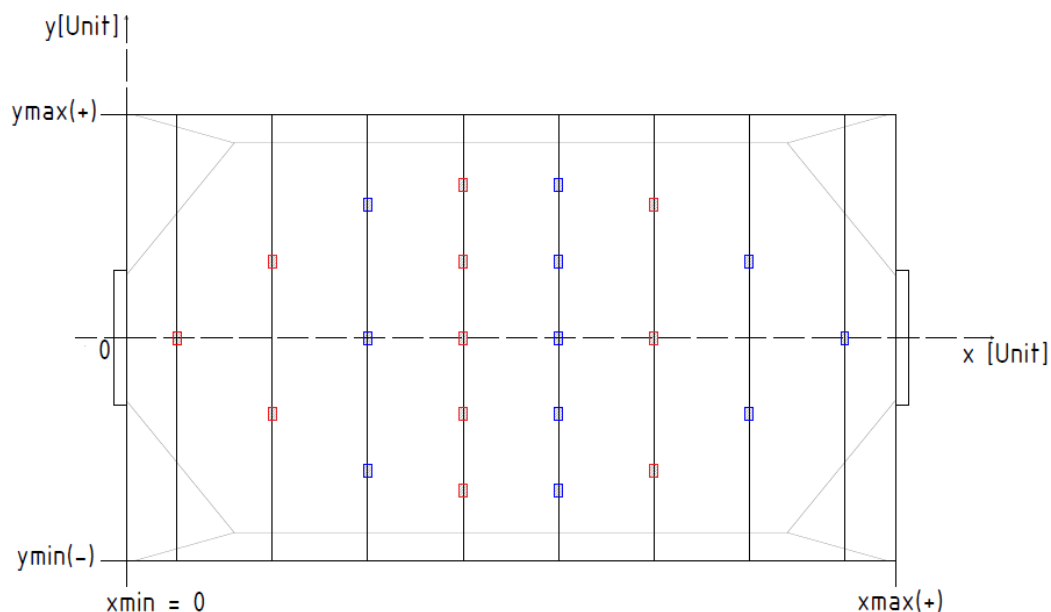
Ako už z názvu vyplýva kapitola sa bude zaoberať návrhom simulácie stolného futbale, presnejšie jeho taktikami pre obranu a útok. Prvá časť kapitoly sa zaoberá návrhom modelu hracej plochy, určením súradnicového systému a následným vytvorením modelu vo vývojovom prostredí. Druhá časť je zameraná na obrannú taktiku pre zachytenie loptičky, jej súčasťou je taktiež výpočet polohy, rýchlosti, zrýchlenia a spomalenia simulácie lineárneho motoru a v poslednej rade návrh používateľského rozhrania. Posledná tretia časť je zameraná na útočnú taktiku po následnom chytení loptičky pomocou predošlého algoritmu.

Pri výbere vývojového prostredia pre tvorbu simulácie sa zvažovali rôzne fakty a ako najlepšia možnosť sa ukázala voľba nástroja MATLAB. Automation Studio síce dokáže pomocou vhodných algoritmov vykresľovať rôzne tvary ale rýchlosť spúšťania programu v nástroji MATLAB je mnohonásobne vyššia ako vo vývojovom prostredí AS, tým pádom bola voľba programu jasná a to aj napriek skutočnosti, že celý návrh simulácie sa v konečnom dôsledku bude musieť prepísať do Automation Studia z dôvodu programovania reálneho hardwaru.

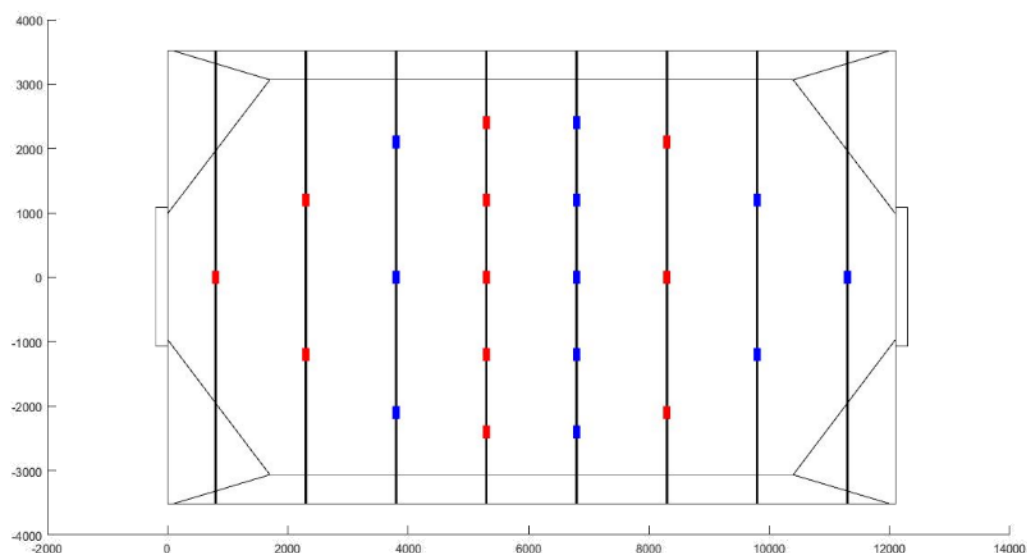
5.1 Model hracej plochy stolného futbalu

Pri tvorbe modelu hracej plochy sa ručne zmerali jednotlivé rozmery stolného futbalu a následne sa určil súradnicový systém. Voľba súradnicového systému je ľubovoľná a jej tvorba závisí na programátorovi. Stolný futbal má tradične 4 osi pre jeden tím a 4 osi pre tím druhý, každá z osí má určitý počet hráčov (brankár – 1, obranca – 2, stredopoliar – 5, útočník – 3). Súradnicový systém pre stolný futbal bol navrhnutý spôsobom ako vidíme na Obr. 52. Tým pádom pri lineárnom pohybe jednotlivých hráčov sa os pohybuje v smere osi y , v kladnom a zápornom smere o totožnú vzdialenosť jednotlivých osí (napr. maximálna vzdialenosť brankára v lineárnom smere je gk_{max} , tým pádom sa brankár pohybuje v kladnom smere o vzdialenosť $\frac{gk_{max}}{2}$ a v zápornom o totožnú vzdialenosť avšak s opačným znamienkom), v prípade robotických osí to závisí od úpravy riešenia a následného prepočítania, kde sa môže líšiť veľkosť výtlaku jednotlivých osí lineárneho motoru. Pri osi x sú jednotlivé vzdialenosti hráčskych osí konštantné.

Po namodelovaní hracej plochy v nástroji AutoCAD sme si pre vlastné potreby a návrh simulácie naprogramovali model hracej plochy aj do vývojového programu MATLAB (Obr. 53). Pri tvorbe programu sme si pre lepšiu presnosť riešenia a hlavne pre odstránenie desatinných čísiel vytvorili vlastnú jednotku, ktorej sme dali názov *Unit* ($1 \text{ Unit} = 0,1 \text{ mm}$). Jednotka *Unit* je používaná v celej časti návrhu a implementácia projektu stolného futbalu. Ďalej treba zmieniť, že ľudská hráč hrá v našom prípade z pravej strany do ľavej, a teda má farbu modrú, robotický hráč má tým pádom farbu červenú a jeho hra spočíva v smere zľava do pravej strany



Obr. 52: Model hracej plochy so súradnicovým systémom – AutoCAD



Obr. 53: Model hracej plochy vo vývojovom nástroji MATLAB

5.2 Návrh simulácie defenzívnej stratégie

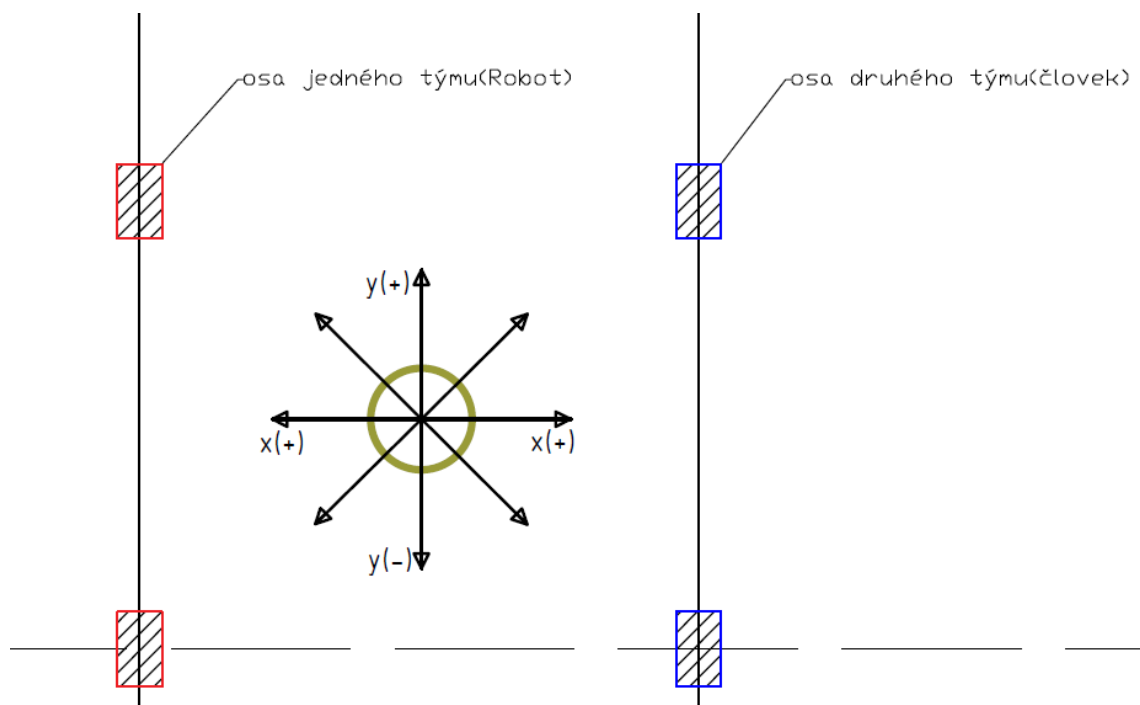
Pri návrhu defenzívnej respektíve obrannej stratégie sa dbalo na rôzne fakty, ako sú rozmery, vstupy prijímané do riadiacej aplikácie, veľkosť rozmeru loptičky atď. Vstupy prijímané do aplikácie boli navrhnuté a konzultované s kolegami, ktorý pracujú na zbieraní dát z kamery (detekcia loptičky) a zbieraní dát zo snímačov (detekcia polohy protihráča – natočenie, vzdialenosť), vid'. predošlá kapitola. Jednotlivé značenie vstupov je zobrazené v Tab. 10.

Tab. 10: Vstupné údaje prijímané do riadiacej aplikácie

Kamera				
<i>loptička_{k-1}</i> [Unit]	x_{k-1}		y_{k-1}	
<i>loptička_k</i> [Unit]	x_k		y_k	
Čas medzi loptičkami [s]	Δt			
Senzor				
<i>Optický</i> [Unit]	<i>opt_sens₀</i>	<i>opt_sens₁</i>	<i>opt_sens₂</i>	<i>opt_sens₃</i>
<i>Reflexný</i> [BOOL]	<i>ref_sens₀</i>	<i>ref_sens₁</i>	<i>ref_sens₂</i>	<i>ref_sens₃</i>

5.2.1 Výpočet smeru loptičky

Výpočet smeru loptičky bol zameraný na všetky možné smery letu a jeho cieľom bolo spočítať predpokladaný koncový bod doletu. Pri určovaní smeru sme vychádzali z pozícií *loptička_{k-1}*(x_{k-1}, y_{k-1}), *loptička_k*(x_k, y_k) dané v tabuľke predošlej podkapitoly. Avšak pri konzultácii s kolegom, ktorý rieši zbieranie dát sme narazili na skutočnosť, že nie vždy sa podarí detekcia pozícií *loptička_{k-1}*(x_{k-1}, y_{k-1}), vtom prípade uvažujeme, že loptička letí smerom k našej bráne a berieme do úvahy len pozície *loptička_k*(x_k, y_k). Na Obr. 54 pod textom môžeme vidieť všetky uvažované smery letu loptičky.



Obr. 54: Uvažované smery letu loptičky na hracom poli ihriska

Okraje hracej plochy stolného futbalu obsahujú lišty, ktoré majú malé vyvýšenie oproti hlavnej hráčkovej ploche (viď. Obr. 52 alebo Obr. 53), avšak pri testovaní sme zistili, že v prípade veľkej rýchlosti sa trajektória loptičky takmer nezmení, a pri pomalejšej rýchlosti kamera dokáže zaznamenať dostatočne rýchlo ďalšie pozície, tým pádom aj rýchlosť výpočtu a našej reakcie pre chytenie.

Ďalším krokom je určenie koncového bodu doletu loptičky. Koncový bod, je v tomto prípade predpokladaná koncová pozícia loptičky ak nedôjde k jej zachyteniu. Určenie koncového bodu (označ. $konc_bod_1$, má súradnice $konc_bod_{x_1}, konc_bod_{y_1}$) pre loptičku smerujúcu rovno sú zobrazené v Tab. 11.

Tab. 11: Určenie koncového bodu pre loptičky smerujúcu rovno

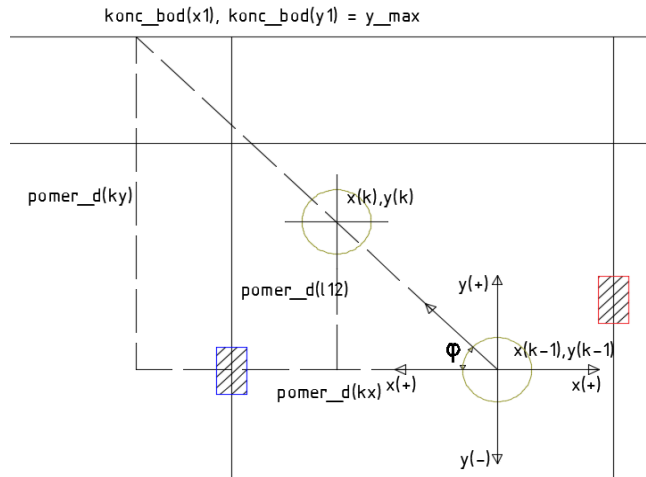
Smer loptičky	$konc_bod_{x_1}$	$konc_bod_{y_1}$
→	x_{max}	y_k
←	x_{min}	y_k – v prípade detekcie súradníc loptičky ($loptička_k, loptička_{k-1}$) y_{k-1} – v prípade detekcie súradníc loptičky ($loptička_{k-1}$)

Pri výpočte ďalších smerov uvažujeme koncové body dva, tým pádom polohu druhého koncového bodu budeme označovať obdobným spôsobom ako v predošlom príklade avšak s indexom 2. V Tab. 12 sú určené polohy koncových bodov pri výpočte ostatných trajektórií loptičky, okrem smeru loptičky s určitým náklonom.

Tab. 12: Určenie koncových bodov pre loptičky smerujúce v ostatných smeroch (okrem náklonu)

Smer Loptičky	$konc_bod_{x_1}$	$konc_bod_{y_1}$	$konc_bod_{x_2}$	$konc_bod_{y_2}$
bez pohybu	x_{k-1}	y_{k-1}	x_k	y_k
↑	x_{k-1}	y_{k-1}	x_k	y_k
↓	x_{k-1}	y_{k-1}	x_k	y_k

Pri výpočte smeru náklonu loptičky sa rovnako ako v predošlom prípade určovali pozície dvoch koncových bodov ($konc_bod_1$ – odraz loptičky od steny ihriska, $konc_bod_2$ – predpokladaný koncový bod doletu loptičky). Ako príklad si ukážeme výpočet jedného smeru náklonu, ostatné smery sa počítajú obdobným spôsobom. Uvažujem smer loptičky znázornený na Obr. 55, ktorý má smer v našom prípade vzad – hore a je naklonený o uhol φ . V danom prípade uvažujeme, že pozícia koncového bodu (y_1) bude rovná y_{max} . A dopočítavame pozíciu koncového bodu (x_1), ktorú si ukladáme do pomocnej premennej ($pom_konc_bod_{x_1}$), ak je hodnota pozície nezáporná, dosadíme pozície do reálnych súradníc koncových bodov, inak hodnotu koncového bodu ($x_1 = x_{min}$ (Obr. 56)) a dopočítame hodnotu koncového bodu (y_1) pomocnou premennou ($pom_konc_bod_{y_1}$). Cieľom výpočtu je určiť súradnice koncového bodu $konc_bod_1(konc_bod_{x_1}, konc_bod_{y_1})$.



Obr. 55: Určenie koncového bodu v prípade, že súradnica $konc_bod_{y_1} = y_{max}$

Rovnice pre výpočet:

$$pomer_d_{ky} = \frac{(y_{max} - y_{k-1})}{abs(y_{k-1} - y_k)} [Unit] \quad (1)$$

$$pomer_d_{kx} = \frac{(x_{k-1})}{abs(x_{k-1} - x_k)} [Unit] \quad (2)$$

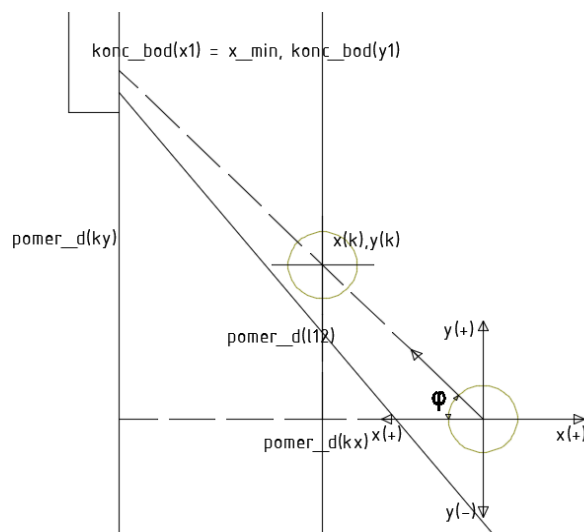
$$pom_konc_bod_{x_1} = x_{k-1} - (pomer_d_{ky} * abs(x_{k-1} - x_k)) [Unit] \quad (3)$$

$$pom_konc_bod_{y_1} = y_{k-1} - (pomer_d_{kx} * abs(y_{k-1} - y_k)) [Unit] \quad (4)$$

Určenie koncového bodu podľa Obr. 55:

$$konc_bod_{x_1} = pom_konc_bod_{x_1} [Unit] \quad (5)$$

$$konc_bod_{y_1} = y_{max} [Unit] \quad (6)$$



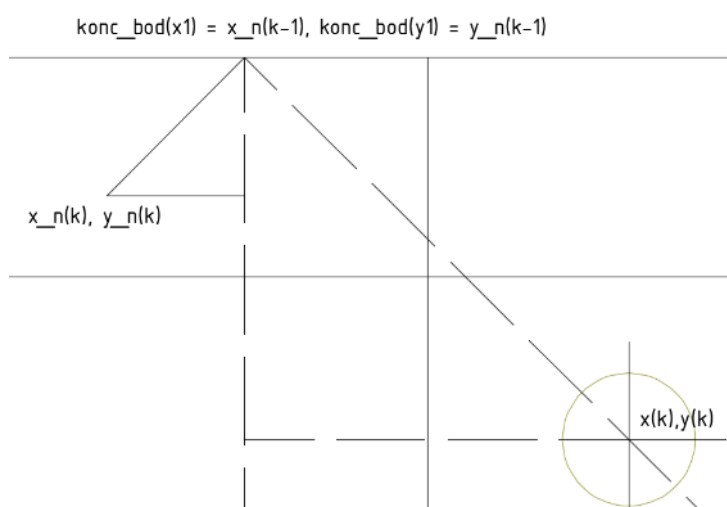
Obr. 56: Určenie koncového bodu v opačnom prípade

Určenie koncového bodu podľa Obr. 56:

$$konc_bod_{x_1} = x_{min} [Unit] \quad (7)$$

$$konc_bod_{y_1} = pom_konc_bod_{y_1} [Unit] \quad (8)$$

Pri výpočte súradníc druhého respektíve posledného koncového bodu využijeme súradnice prvého koncového bodu z predošlého výpočtu vid'. vzorce (5) (6) alebo vzorce (7) (8), ktoré budeme uvažovať v tomto prípade ako súradnice loptičky ($loptička_{k-1}(x_{k-1}, y_{k-1})$) a súradnice ($loptička_k(x_k, y_k)$) dopočítame. Je zrejmé, že ak loptička pri výstrele má určitý smer, po odraze bude mať smer opačný a uhol náklonu φ bude nemenný, čím vieme určiť smer letu loptičky (Obr. 57).



Obr. 57: Smer letu loptičky po odraze

Rovnice pre výpočet podľa Obr. 57:

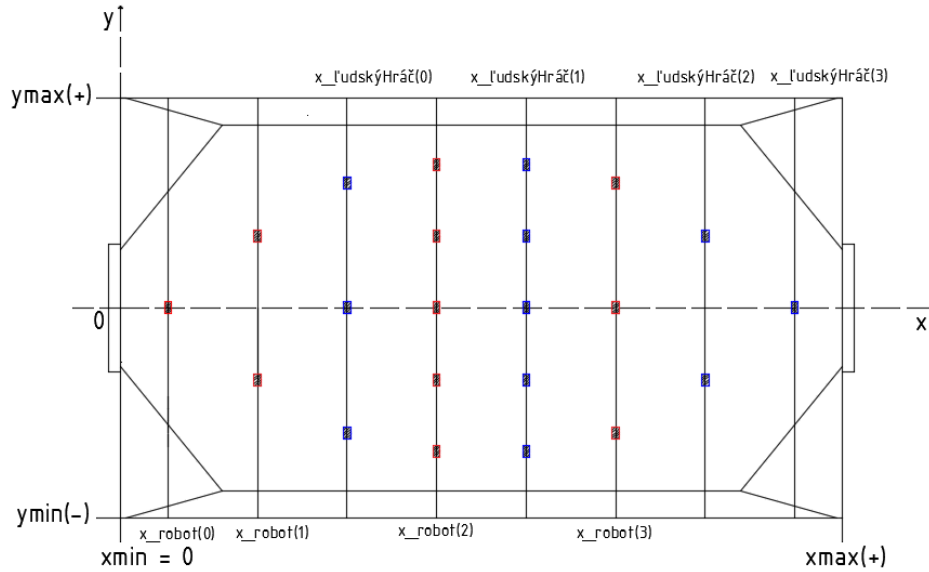
$$x_{n_k} = x_{n_{k-1}} - abs(x_{n_{k-1}} - x_k) * 0,01 [Unit] \quad (9)$$

$$y_{n_k} = y_{n_{k-1}} - abs(y_{n_{k-1}} - y_k) * 0,01 [Unit] \quad (10)$$

Samozrejme treba brať do úvahy, že vzorce pre výpočet sú určené pre konkrétny príklad, ich štruktúra sa síce nemení, avšak sa môže meniť znamienko v závislosti na smere trajektórie loptičky.

5.2.2 Výpočet času a miesta prekríženia loptičky a hráčskej osi

Pri výpočte času a miesta prekríženia hráčskej osi s loptičkou považujeme jednotlivé hráčske osi (súradnice x) za konštantné a pri výpočte berieme do úvahy aj prekríženie osi súpera (ľudský hráč), ktorých výpočet budeme používať neskôršie. Rozloženie x – ových osí hracej plochy stolného futbalu môžeme vidieť na Obr. 58.



Obr. 58: Rozloženie x – ových osí hracej plochy stolného futbalu

Na začiatku výpočtu je potrebné zistiť koľko osí pretína loptička, a ktoré z nich pretína pri trajektórii loptičky smerom do vrchu, a ktoré smerom na dol (týka sa len výpočtu ak loptička neletí rovnomerne). Ďalším začiatočným pravidlo sme volili skutočnosť, že v prípade veľmi malého uhlu sklonu loptičky uvažujeme, že loptička žiadnu os nepretína a berieme do úvahy stratégiu, kde sa posúva loptička buď do pravej alebo ľavej strany. Príklad výpočtu je znázornený pre osi robota ($x_{robot_{i..n}}$, $n = 3$), obdobné to je pre osi ľudského hráča.

Počet osí, ktoré pretína loptička:

$$x = [x_{k-1}, konc_bod_{x_1}] [Unit] \quad (11)$$

$$\sum_{i=0}^{n=length(x)-1} (počet_pretnuti_i = (x_i \geq x_{robot_i}) \wedge (x_i \leq x_{robot_{i+1}})) [Unit] \quad (12)$$

Výpočet pre loptičku letiacu priamym smerom alebo loptičku, ktorá sa posúva do pravej, či ľavej strany, prípadne stojí na jednom mieste je triviálny a znázornený vo vzorcoch pod textom (pretnutie osi určuje súradnica x – ová súradnica $loptička_{k-1}$ alebo súradnica $loptička_k$, čo závisí od detekcie $loptička_k$).

$$\sum_{i=0}^{n=3} (pretnutie_osi_{y_i} = (y_k \vee y_{k-1})) [Unit] \quad (13)$$

$$\sum_{i=0}^{n=3} (\text{prenutie_osi}_{x_i} = x_{\text{robot}_i}) [\text{Unit}] \quad (14)$$

Vzorce pre výpočet loptičky letiacej v šikmom smere:

a) Smer trajektórie – do vrchu

$$\sum_{i=0}^{n=3} \left(\text{prenutie_osi}_{V_{y_i}} = \text{konc_bod}_{x_1} - \frac{\text{konc_bod}_{y_1} - \text{konc_bod}_{y_2}}{\frac{\text{konc_bod}_{x_1} - \text{konc_bod}_{x_2}}{\text{konc_bod}_{x_1} - x_{\text{robot}_i}}} \right) [\text{Unit}] \quad (15)$$

b) Smer trajektórie – na dol

$$\sum_{i=0}^{n=3} \left(\text{prenutie_osi}_{D_{y_i}} = y_k - \frac{\text{konc_bod}_{y_1} - y_k}{\frac{x_k - \text{konc_bod}_{x_1}}{x_k - x_{\text{robot}_i}}} \right) [\text{Unit}] \quad (16)$$

c) Celkový smer trajektórie

$$\sum_{i=0}^{n=3} (\text{celk_prenutie_osi}_{y_i} = \text{prenutie_osi}_{V_{y_i}} + \text{prenutie_osi}_{D_{y_i}}) [\text{Unit}] \quad (17)$$

Vzorce pre výpočet rýchlosti loptičky a času pri prenutí hráčskej osi:

a) Výpočet rýchlosti loptičky

$$v_{\text{lopt}} = \frac{\sqrt{(x_{k-1} - x_k)^2 + (y_{k-1} - y_k)^2}}{\Delta t} [\text{Unit/s}] \quad (18)$$

b) Výpočet času pri prenutí hráčskej osi

$$\sum_{i=3}^{n=0} t_{p_i} = \sum_{i=0}^{n=3} \left(\frac{\text{prenutie_osi}_{y_i}}{v_{\text{lopt}}} \vee \frac{\text{celk_prenutie_osi}_{y_i}}{v_{\text{lopt}}} \right) [s] \quad (19)$$

$$\sum_{i=0}^{n=3} t_i = \sum_{i=3}^{n=0} t_{p_i} + t_{p_{i+1}} [s] \quad (20)$$

5.2.3 Výpočet pozícií jednotlivých hráčov

Pri výpočte pozícií jednotlivých hráčov sú podstatné jednotlivé vzdialenosti medzi hráčmi, ktoré boli ručne namerané. Vychádzame teda z nulovej pozície, ktorá je daná maticou M (vzorec č. 21). Počet stĺpcov matice je daný najvyšším počtom hráčov a počet riadkov je daný počtom osí. Ak sa na pozícií matice nachádza záporné číslo, teda číslo -1 , uvažujeme, že na riadku osi sa nenachádza žiadny hráč.

Vstupný údajom pre výpočet bude v prípade sledovania ľudského hráča hodnota zo senzoru vzdialenosti a v prípade určenia polohy robotického hráča to bude aktuálna pozícia lineárneho motoru.

Počiatočná matica:

$$M = \begin{pmatrix} gk_0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ df_0 & df_1 & -1 & -1 & -1 \\ md_0 & md_1 & md_2 & md_3 & md_4 \\ fw_0 & fw_1 & fw_2 & -1 & -1 \end{pmatrix} [Unit] \quad (21)$$

- gk (goalkeeper) – brankár
- df (defender) – obranca
- md (midfielder) – stredopoliar
- fw (forward) – útočník

Výstupná matica určujúca polohu jednotlivých hráčov:

$$\sum_{i=0}^{n=3} (p_i = opt_sens_i \vee linear_motorPos_i) [Unit] \quad (22)$$

$$\sum_{i,j=0}^{n=3,4} (M_výst_{i,j} = M_{i,j} + p_i) [Unit] \quad (23)$$

5.2.4 Výpočet pozície, rýchlosti, zrýchlenia a spomalenia jednotlivých osí

Výpočet pozície, rýchlosti, zrýchlenia a spomalenia jednotlivých osí je posledná a zároveň najdôležitejšia časť celého algoritmu, ktorého cieľom je určiť výtlak jednotlivých osí tak, aby sa zabránilo vstreleniu gólu a v čo najkratšom čase určiť presunutie jednotlivých osí na určené pozície. Je potrebné sa zamerať na skutočnosť, že rozloženie panáčikov musí byť voči loptičke usporiadané tak, aby tvorilo pyramídu (len v prípade, že smer trajektórie loptičky bude priamy, prípadne naklonený o minimálny uhol) za sebou. Napriek zlej detekcii z kamery, či prípadnej veľkej rýchlosti pohybu ľudského hráča nedošlo k vstreleniu gólu.

Na začiatku výpočtu je potrebné zistiť, ktorá os robotického hráča bude stáť v ceste loptičky ako prvá, od pozície danej osi sa budú odvíjať ostatné výpočty (viď. predchádzajúce výpočty danej kapitoly). Pri ďalšom kroku využívame dáta zo snímačov pri detekcii súpera, kde detegujeme veľkosť výtlaku (podľa kap. 5.2.3, zistíme pozície jednotlivých hráčov) a následne zisťujeme, či hráč súpera stojí v smere trajektórie loptičky a zároveň natočenie uhlu jeho osi je v rozsahu, kde dokáže zabrániť prechodu loptičky do ďalšieho pásma. Je nutné podotknúť, že os, ktorej hráči stoja za pozíciou loptičky sú nastavený na sledovanie loptičky a jej bráneniu v prípade, že by chcel ľudský hráč prihrávať smerom vzad.

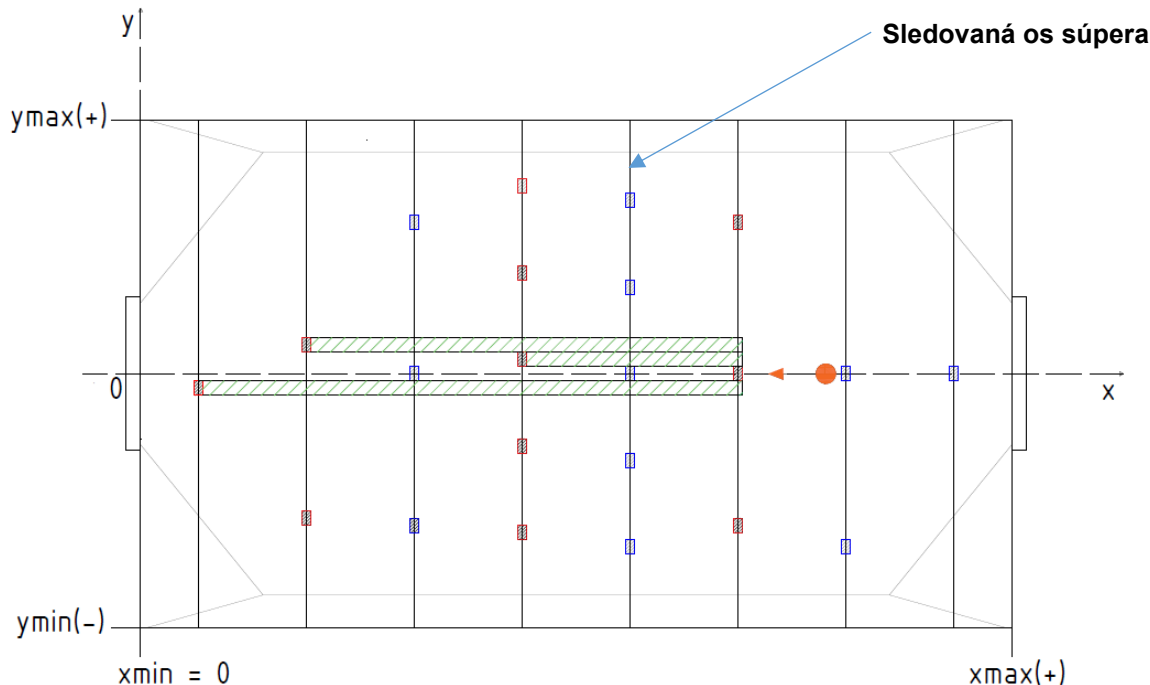
Vzorec pre zistenie polohy protihráča stojaceho v smere trajektórie:

$$pp = \sum_{i,j=0}^{n=3,4} \left((-1) * M_{výst_{i,j}} - \left(abs \left(prenutie_{osi_{y_i}} \vee celk_{prenutie_{osi_{y_i}}} \right) \right) \right) [Unit] \quad (24)$$

Vzorec pre výpočet polohy protihráča (pp) sa vykoná len v prípade, že detekcia z reflexného snímača určenia natočenia zaznamená natočenie v určenom rozsahu. Ďalším krokom, bude strategické určenie pozícií jednotlivých os pri prenutí loptičkou tzv. pyramídová stratégia vid'. Obr. 59 a Obr. 60, pri strele ľudského hráča z pozície obrany (ľudský hráč – modrá farba) smerom k bráne robotického hráča – zelená farba vymedzuje pokrytý priestor.

Stratégia (ST1) v prípade, že poloha hráča sledovanej osi nie je v smere trajektórie alebo reflexný snímač nezaznamenal uhol natočenia v určenom rozsahu:

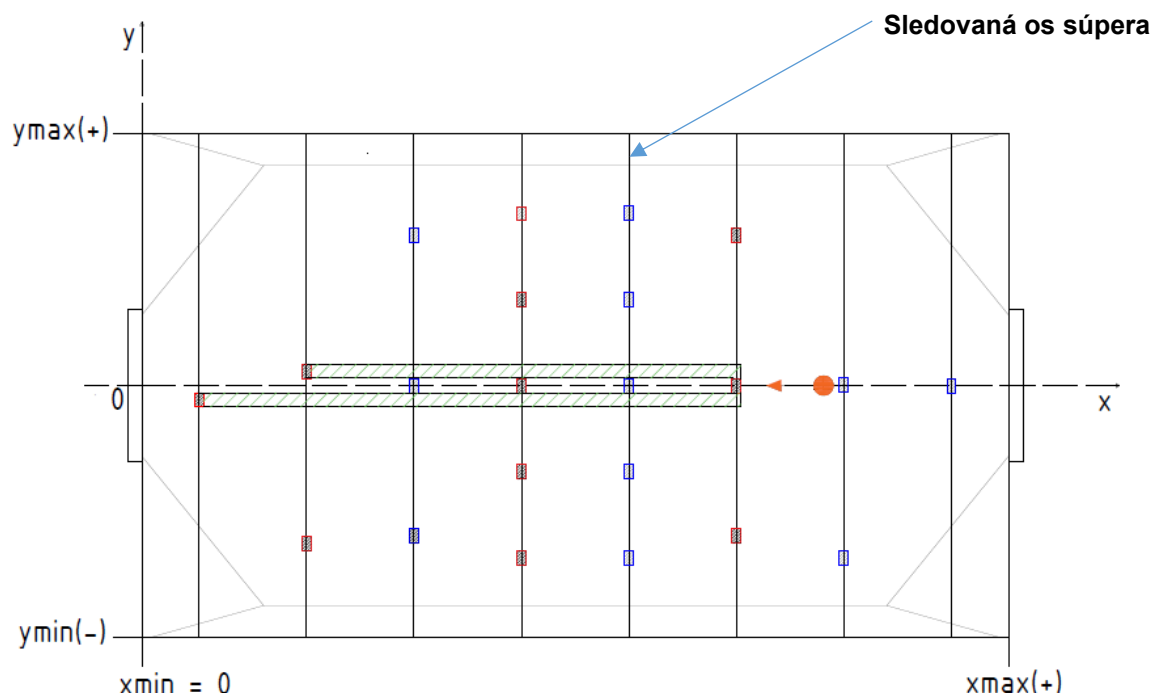
1. Hráč prvej osi, ktorú pretne je postavený priamo oproti loptičke.
2. Hráč druhej osi je posunutý smerom do kladnej časti súradnicového systému o vzdialenosť veľkosti priemeru hráča.
3. Hráč tretej osi je rovnako posunutý, avšak o vzdialenosť priemeru predošlej osi.
4. Posledná osa brankára je posunutá o vzdialenosť priemeru rovnako ako v predchádzajúcich prípadoch avšak smerom do zápornej časti.



Obr. 59: Pyramídová stratégia pri zachytení loptičky ST1

Stratégia (ST2) v prípade, že poloha hráča sledovanej osi je v smere trajektórie a zároveň reflexný snímač zaznamenal uhol natočenia v určenom rozsahu:

1. Stratégia v danom prípade je obdobná ak v predošlom prípade, čiže pri prvej osi zaujme hráč polohu oproti pozícií loptičky.
2. V druhom prípade však stojí hráč súpera v smere trajektórie, tak predpokladáme, že ak by nebol splnený bod 1, tým pádom by súper loptičku zachytil a je potrebné nastaviť polohu hráča v danej osi pred pozíciu loptičky.
3. V treťom kroku opakujeme stratégiu (ST1) z predošlého prípadu.



Obr. 60: Pyramídová stratégia pri zachytení loptičky ST2

Poslednou časťou výpočtu je určiť výtlak (pozíciu, ktorým hráčom loptičku zachytíme) na základe predpokladanej pozície určenie zo stratégií vyššie. A následne určiť rýchlosť, zrýchlenie a spomalenie. Ako príklad si ukážeme algoritmus pre výpočet určenia jednej z osí (napr. osi stredopoliara, ktorá má 5 hráčov). Algoritmus je obdobný pri riešení ostatných osí.

Určenie výpočtu pozície:

1. Na začiatku si z rovnice (22) separujeme pozície jednotlivých hráčov danej osi. Vzhľadom na súradnicový systém, pozície niektorých hráčov budú mať kladné znamienko a iný záporné (označenie napr. $poz_hráča_i$, kde i sú pozície od 0 až n , kde n je počet hráčov).
2. Z predošlej pyramídovej stratégie sme určili predpokladanú pozíciu označme si ju napr. $aktuálna_poz_i$, kde i je index osi, v našom prípade to bude 2 (0 – brankár, 1 – obranca atď.).

3. Pomocný výpočet polohy hráčov vid'. Tab. 13, kde volíme 3 druhy výpočtu, jeden v prípade zápornej pozície hráča, jeden v prípade kladnej pozície a posledný v prípade, že hráč má pozíciu 0.

Tab. 13: Pomocný výpočet polohy hráčov

Súradnicová os	
(+)	$pomocná_p_i = poz_hráča_i - aktuálna_poz_i$
(-)	$pomocná_p_i = abs(poz_hráča_i) + aktuálna_poz_i$
0	$pomocná_p_i = aktuálna_poz_i$

4. V kroku č. 4 si vypočítame najmenšiu hodnotu (označme si ju min_poz) a index (označme si ho napr. idx) danej hodnoty v poli z kroku č. 3 ($pomocná_p_i$, i je počet hráčov).
5. V poslednom kroku zistíme, či $aktuálna_poz_i > poz_hráča_i$ ($i = idx$, $krok$ č. 4), ak to platí, tak výsledná pozícia $s_p = min_poz$, v inom prípade je $s_p = (-1) * min_poz$.

Vzorce pre výpočet pozície (s), rýchlosti (v), zrýchlenia (a) a spomalenia (d):

$$s = abs(s_p - aktuálna_pozLinMotoru)[Unit] \quad (25)$$

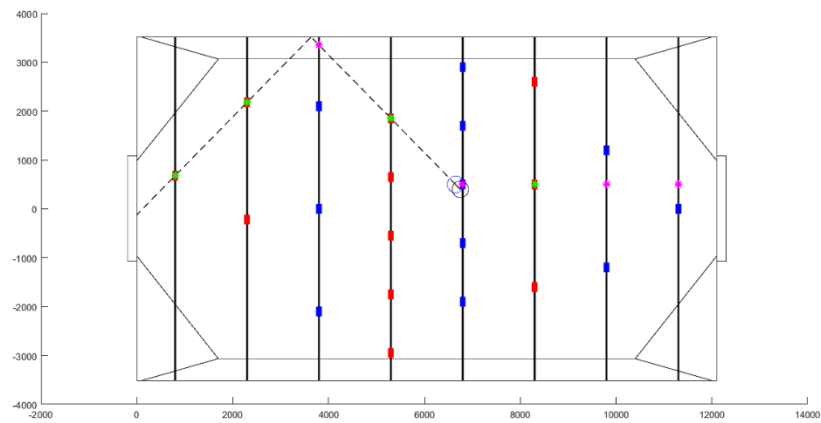
$$v = \frac{s}{(t_i)} \left[\frac{Unit}{s} \right] \quad (26)$$

$$a = \frac{v}{(t_i)} \left[\frac{Unit}{s^2} \right] \quad (27)$$

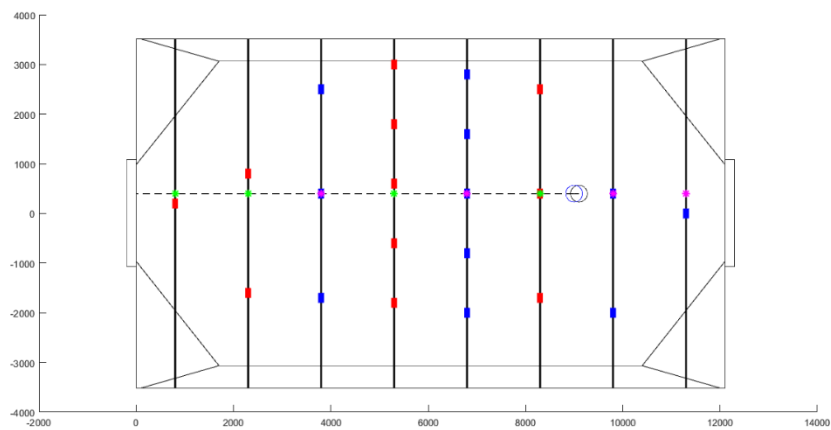
$$d = (-1) * \left(\frac{v}{(t_i)} \right) \left[\frac{Unit}{s^2} \right] \quad (28)$$

5.2.5 Uživateľské prostredie pre defenzívnu stratégiu

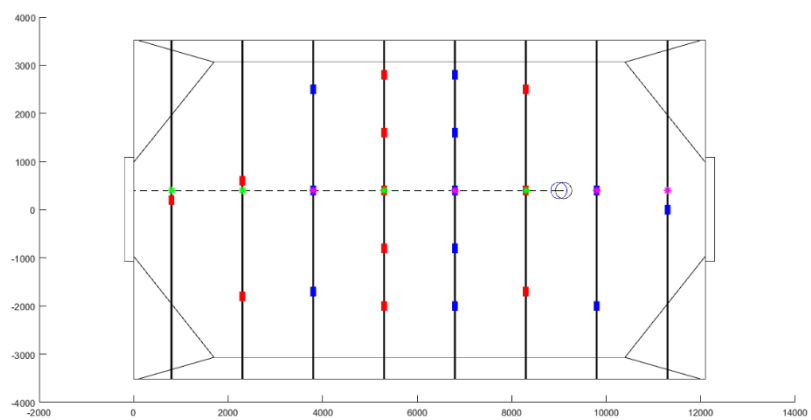
Uživateľské prostredie tak ako celý algoritmus pre simuláciu je navrhnutý v riadiacom programe MATLAB. Vstupné údaje do aplikácie sú rovnaké ako zmieňujem v Tab. 10 kap. 5.2. Výstupné údaje sú výpočet pozície, rýchlosti, zrýchlenia a spomalenia jednotlivých osí. Výhodou uživateľskej aplikácie je prekresľovania hráčov pri pohybe, čo môže pomôcť pri testovaní na reálnom stroji. Aplikácia mám tlačidlo „START“, ktorým sa spúšťa a „RESET“, ktoré vynuluje hlavnú plochu. Na začiatku si ukážeme príklady, z predošlých výpočtov a na záver samotnú aplikáciu.



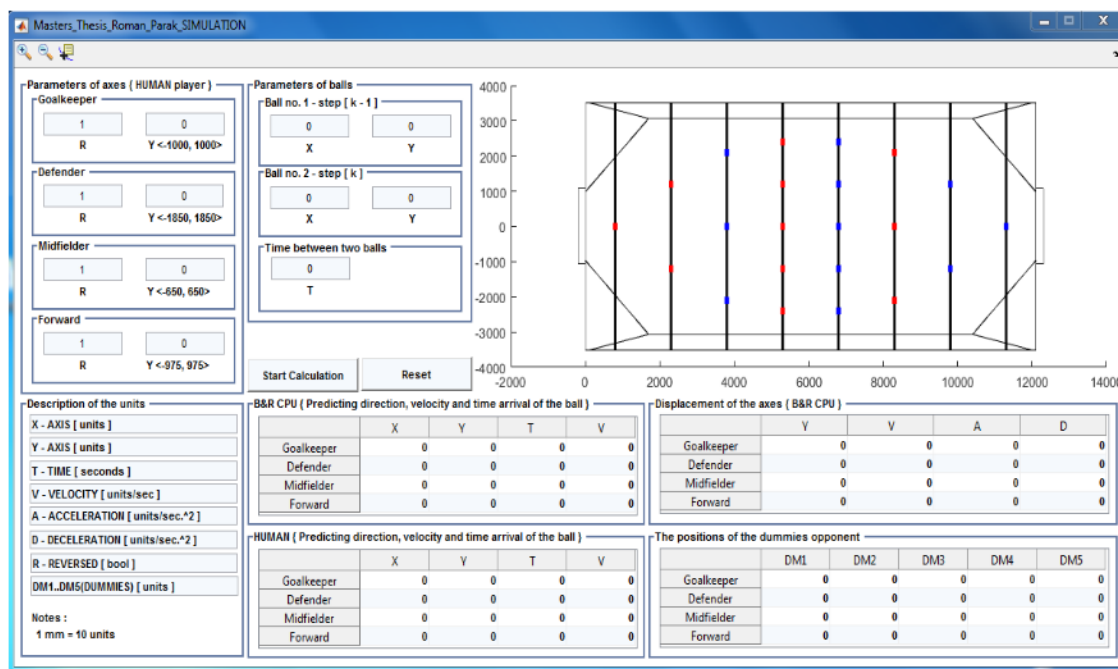
Obr. 61: Vykreslenie výpočtu pri strele naklonenej o uhol φ



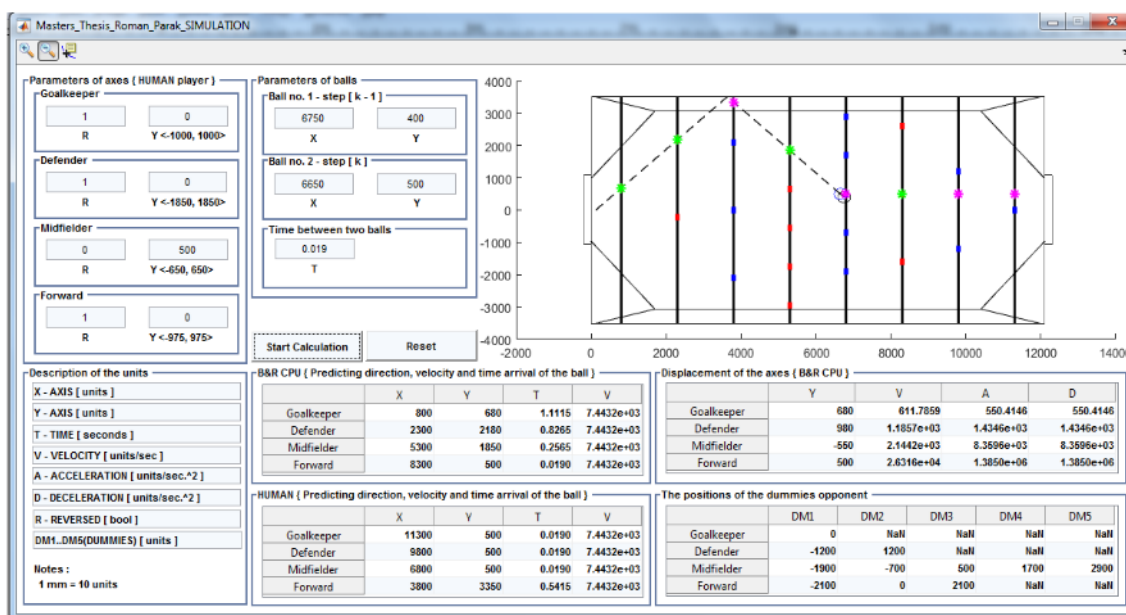
Obr. 62: Vykreslenie výpočtu pri priamej strele podľa stratégie (ST1)



Obr. 63: Vykreslenie výpočtu pri priamej strele podľa stratégie (ST2)



Obr. 64: Uživatelské rozhranie – pred spustením aplikácie

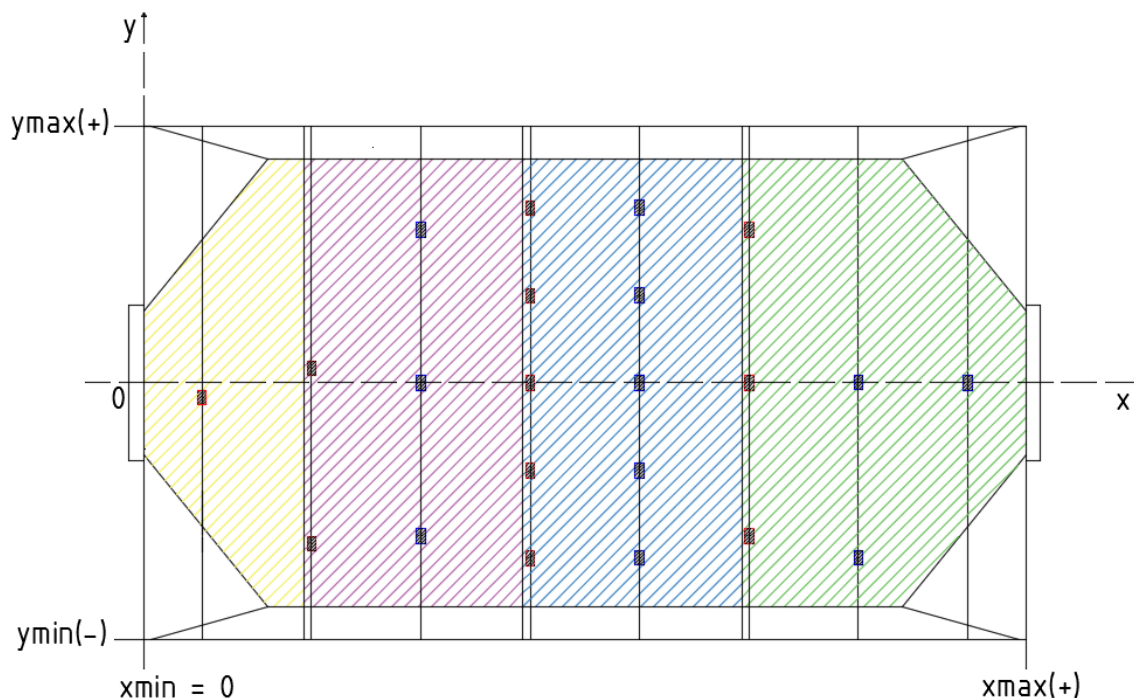


Obr. 65: Uživatelské rozhranie – po spustení aplikácie

5.3 Návrh simulácie ofenzívnej stratégie

Voľba ofenzívnej a teda útočnej stratégie bude vychádzať zo skutočnosti, či robotický tím zachytil loptičku pomocou stratégie defenzívnej. Prvým krokom, pri zistení voľby stratégie je rozdelenie hracieho poľa na štyri vyhl'adávané oblasti (Obr. 66) a pomocou

vstupných údajov z Tab. 10 (súradnice loptičky) zistíme, pre ktorú oblasť zvolíme výpočet.

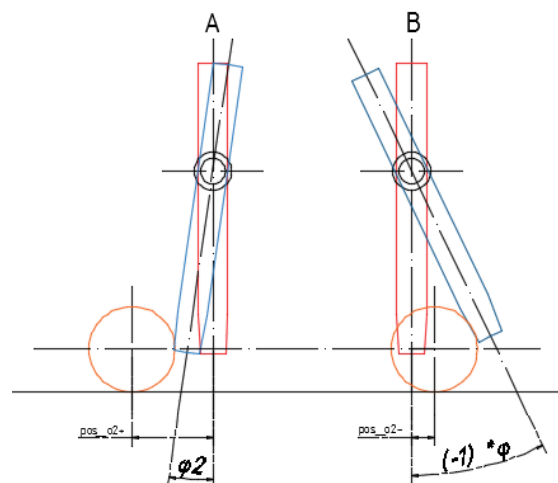


Obr. 66: Rozdelenie hracieho poľa na štyri oblasti vyhľadávania

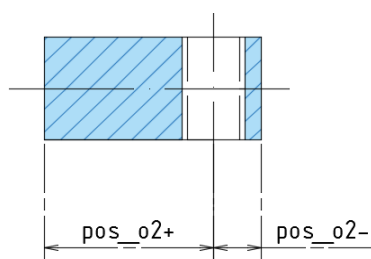
Ďalším krokom bude zistenie pozície jednotlivých hráčov podľa veľkosti výtlaku lineárnych motorov. Pre zistenie použijeme výpočet z kap. 5.2.3 Výpočet pozícií jednotlivých hráčov. Pri poslednom kroku určíme, či sa nachádza poloha v okolí hráča. Keďže cieľom defenzívnej taktiky bolo brániť v prechode loptičky obomi smermi, je potrebné určiť okolie hráča pri bránení, keď trajektória loptičky smeruje priamo na neho a pre ďalší typ bránenia, keď smer trajektórie loptičky prichádza od chrbta. Po zachytení loptičky následne určíme útočnú taktiku. V prípade nezachytenia sa použije znovu obranná stratégia, až kým loptičku nezachytíme alebo prípadne nedostaneme gól.

5.3.1 Voľba ofenzívnej taktiky pri zachytení trajektórie loptičky prichádzajúcej spredu (TYP 2)

Pri voľbe stratégie zachytenia loptičky prichádzajúcej spredu (označme si ju TYP 2), ktorý môžeme považovať za pravdepodobne najčastejší prípad zachytenia, volíme väčšie okolie ako pri zachytení loptičky prichádzajúcej od chrbta, z dôvodu možnosti výstrelu. Šírka okolia bola navrhnutá tak, že poloha stredu loptičky sa môže nachádzať na okraji hráča a bolo zistené, že trajektória loptičky sa pri tejto polohe nemení a teda nenastáva situácia, pri ktorej by smer loptičky bol nepriamy. Na Obr. 67 vidíme minimálny dosah pre zachytenie loptičky B a maximálny dosah A. Veľkosť okolia je znázornená na Obr. 68. Typ B je východisková poloha hráča pri zachytení.

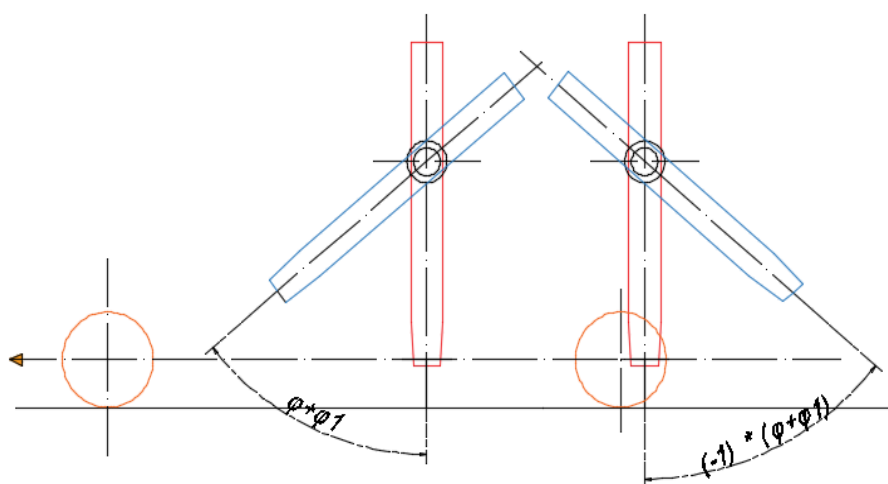


Obr. 67: Maximálny dosah okolia A, minimálny dosah okolia B (TYP 2)



Obr. 68: Veľkosť okolia TYP 2

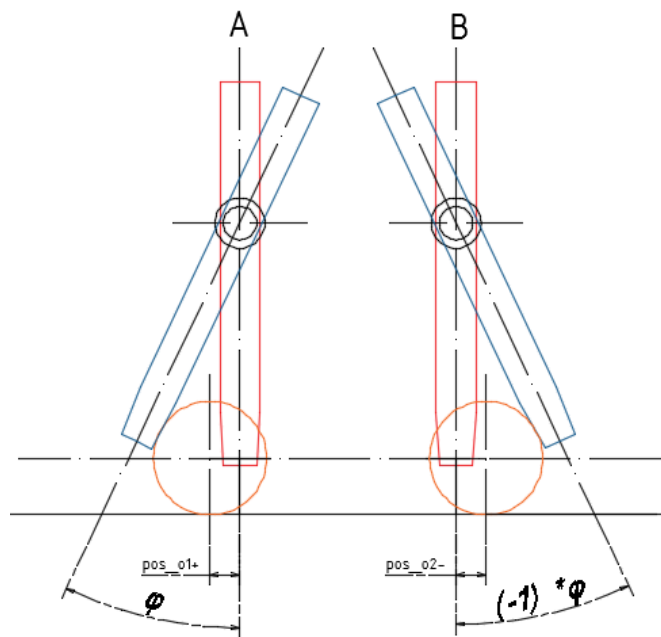
Po zaznamenaní loptičky v okolí hráča pri ofenzívnom type stratégie (TYP 2), následne hráč loptičku vystrelí smerom k bráne súpera najväčšiu rýchlosťou (podľa typu rotačného motora) pri vzdialenosti $2 * (\varphi + \varphi_1)$ vid'. Obr. 69 a po dokončení výstrelu zaujme presun do východiskovej polohy (Obr. 67 B).



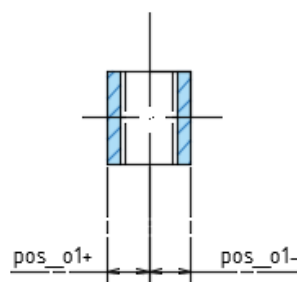
Obr. 69: Výstrel loptičky pri ofenzívnej stratégii TYP 2

5.3.2 Voľba ofenzívnej taktiky pri zachytení trajektórie loptičky prichádzajúcej od chrbta (TYP 1)

Pri voľbe stratégie zachytenia loptičky prichádzajúcej od chrbta (označme si ju TYP 1) volíme menšie okolie ako v predchádzajúcom prípade. Dôvod je zrejmý z toho hľadiska, že je potrebné sa dostať zo stratégie TYP 1 do stratégie TYP2 aby sme mohli odohrať loptičku smerom k bráne súpera. Na Obr. 70 vidíme, že zachytenie TYP 2 je v ľavej polovici pod označením A, cieľová pozícia, do ktorej sa musíme dostať, pre odohratie loptičky je znázornená pod označením B, veľkosť okolia je znázornená na Obr. 71.



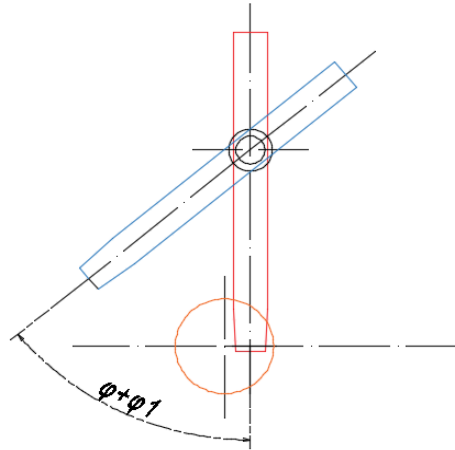
Obr. 70: Zachytenie loptičky TYP 1 a cieľová pozícia TYP 2



Obr. 71: Veľkosť okolia pre TYP 1

Taktika presunu TYP 2 na TYP 1:

1. Zdvih robotického hráča (rotačná os) do polohy $\varphi + \varphi_1$



Obr. 72: Zdvih do polohy $\varphi + \varphi_1$

2. Presun hráča (lineárna os) do polohy (L_+ v L_-), primárne sa volí L_+ , ale v prípade, že $L_+ + \text{aktuálna_pozLinMotoru} \geq \text{maximálna_dovolenáPos}$, volíme L_-

$$L_+ = (\text{pos}_{o1-}) + r_{\text{loptičky}} + c \text{ [Unit]} \quad (29)$$

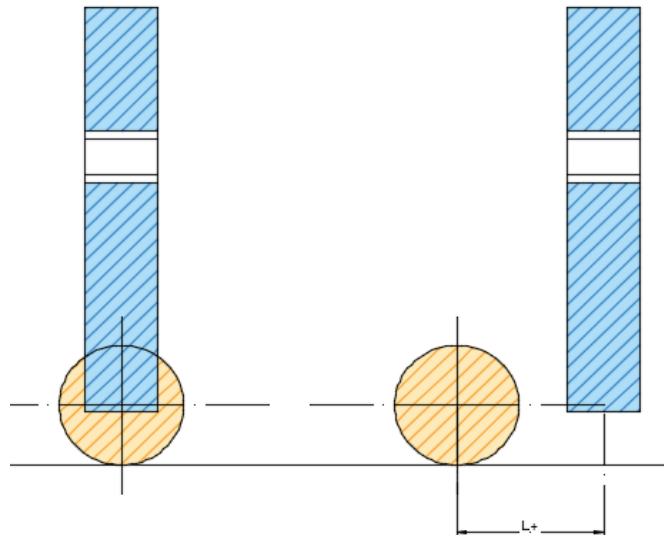
$$L_- = (\text{pos}_{o1+}) - r_{\text{loptičky}} - c \text{ [Unit]} \quad (30)$$

Kde:

pos_{o1+} v pos_{o1-} = veľkosť okolia TYP 1 [Unit]

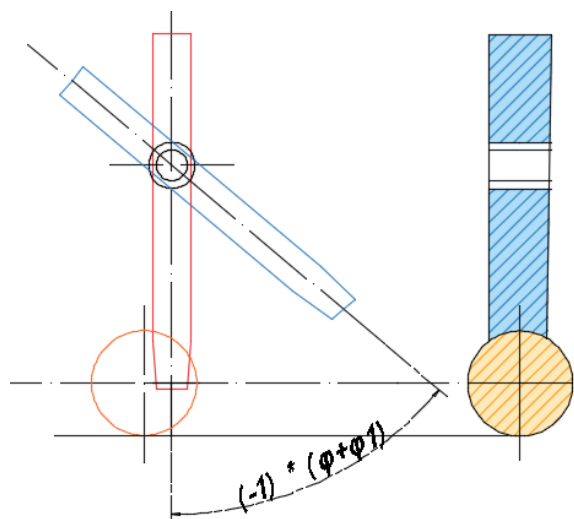
$r_{\text{loptičky}}$ = polomer loptičky [Unit]

c = chybová konštanta [Unit]



Obr. 73: Presun do polohy (L_+ v L_-)

3. Natočenie (rotačná os) do polohy $(-1) * (\varphi + \varphi_1)$ a voľba posunutia (lineárna os) do polohy (L_+ v L_-) opačnú ako v predošlom prípade a následné zaujatie polohy B z Obr. 70 a voľba stratégie TYP 2.



Obr. 74: Natočenie do polohy $(-1) * (\varphi + \varphi_1)$ a presun do polohy $(L_+ \vee L_-)$

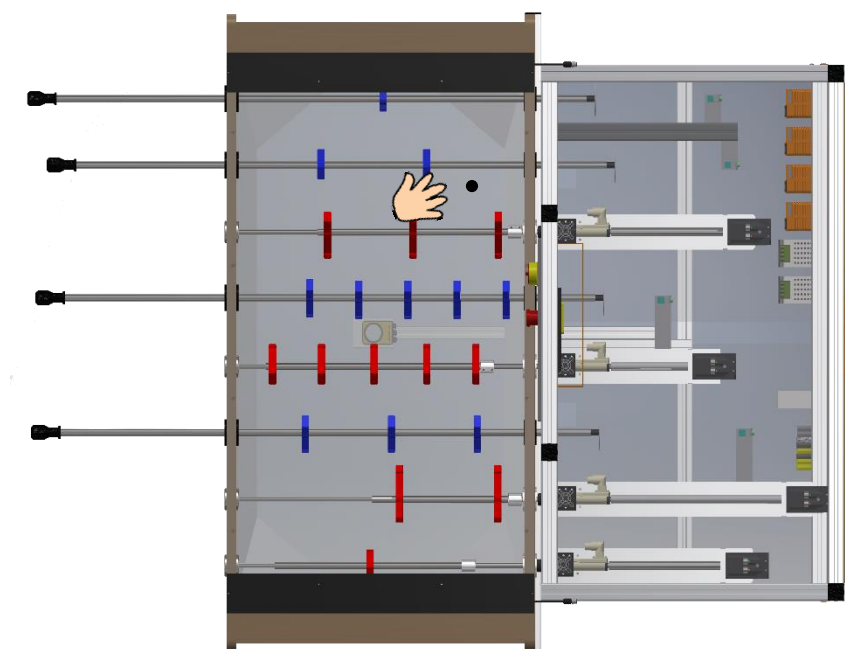
6 SAFETY (BEZPEČNOST')

Bezpečnosť strojných zariadení je v poslednej dobe veľmi diskutovanou záležitosťou v strojnom priemysle. Na každom zariadení, nie iba strojom, môžeme definovať veľké množstvo bezpečnostných typov ochrany (požiarne, elektrické atď.) ktoré musí výrobca zariadenia bezpodmienečne dodržať.

Kapitola Safety (bezpečnosť) sa bude zaoberať návrhom, či už konštrukčným alebo softwarovým pre bezpečnosť robotického stolného futbalu. Cieľom robotického stolného futbalu je návšteva rôznych veľtrhov, spoločenských udalostí atď., kde bude vystavený pre používanie ľudským hráčom. Je potrebné dbať na riziko, ktoré môže hroziť v rôznych prípadoch používania. Prvá časť kapitoly sa bude zaoberať zistením možných rizík hroziacich pri používaní robotického stolného futbalu na verejných akciách. Ďalšia časť sa bude zaoberať návrhom a zapojením bezpečnostných prvkov. Tretia časť bude venovaná protokolu openSAFETY a posledná časť sa bude zaoberať vývojovým nástrojom pre tvorbu bezpečnostnej aplikácie, ktorý má názov SafeDESIGNER a samotným vytvorením riadiacej bezpečnostnej aplikácie, ktorá bude následne otestovaná. Test riadiacej aplikácie prebehol pod dohľadom inžinierskych pracovníkov, ktorý majú potrebné školenia a certifikáciu o bezpečnosti pre vytváranie bezpečnostných riešení v praxi.

6.1 Riziková analýza robotického stolného futbalu

Pri určovaní rizikovej analýzy sa dbal dôraz na všetky možné následky, ktoré môžu nastať pri používaní robotického stolného futbalu. Vzhľadom na skutočnosť, že stolný futbal bude navštevovať rôzne spoločenské akcie a tým bude vystavený neustálemu používaniu, je potrebné zabezpečiť nepretržitú ochranu okolitým užívateľom automatizovaného stroja. Medzi prvé hlavné riziko patrí skutočnosť, že chyba nastane v riadiacom programe, čo môže zapríčiniť rôzne dôsledky ako napr. poškodenie konštrukcie, či ublíženie ľudskému hráčovi stojacemu pred stolným futbalom. Jedným z ďalších rizík, ktoré patrí medzi najzásadnejšie je uviaznutie loptičky na hracej ploche v mieste, kde nie je možné sa dostať ani z hráčmi ľudského hráča a taktiež ani z hráčmi robotického hráča, v tom prípade musí ľudský hráč posunúť, poprípade zdvihnúť loptičku (Obr. 75) a zase vrátiť do hry, to však môže zapríčiniť, že kamera sledujúca loptičky deteguje ľudskú ruku ako prípadný tvar loptičky a motor sa rozhodne vykonať zvolený pohyb, čo môže zapríčiniť ublíženie na zdraví. Identifikáciu možných rizík môžeme vidieť v Tab. 14, kde boli zhrnuté všetky predpokladané možné riziká, na ktoré sa v ďalšom návrhu bude dbať dôraz. V prípade ďalšieho rozširovania stolného futbalu, ktoré môže prísť v budúcnosti, je potreba možné riziká znovu identifikovať a prípadne upraviť návrh bezpečnosti.



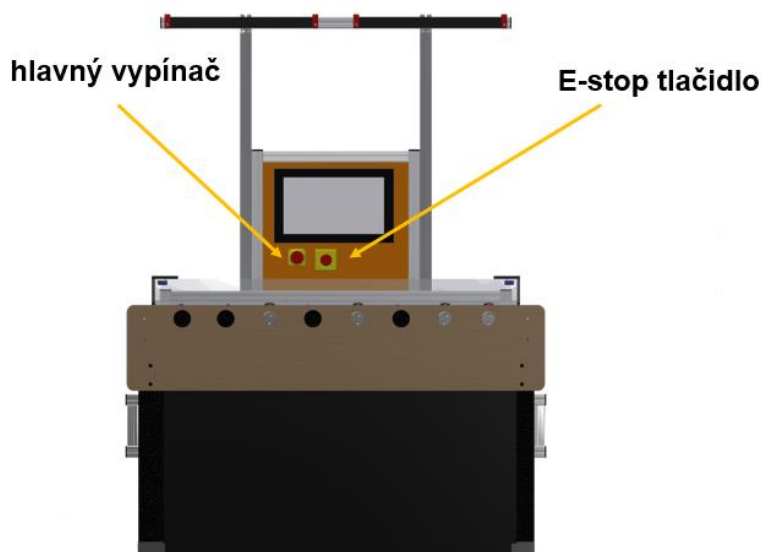
Obr. 75: Pokus o posunutie, prípadne zdvihnutie loptičky pri hraní stolného futbalu

Tab. 14: Identifikácia rizík modelu robotického stolného futbalu

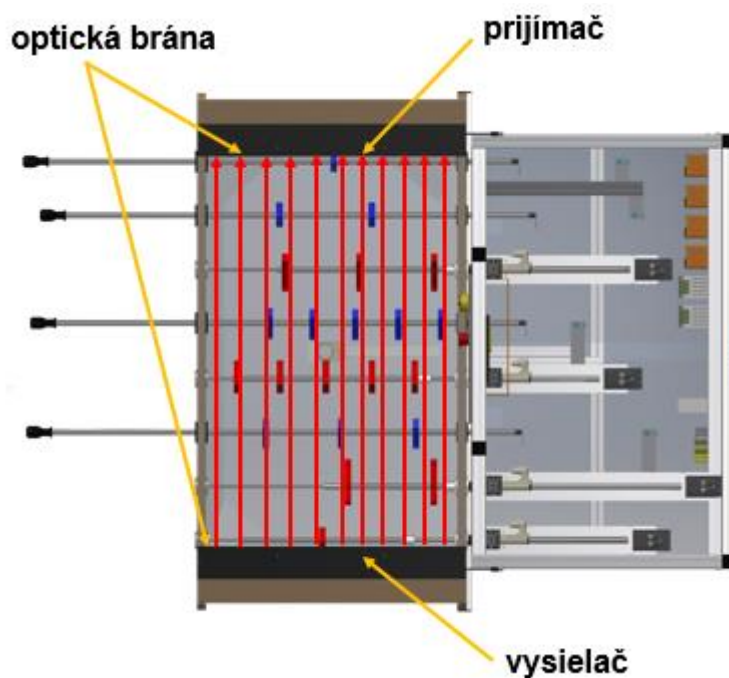
Č.	Príčina	Riziko	Dôsledok
1	Zlyhanie koncových spínačov	Nezabrzdenie motorov	Poškodenie konštrukcie
2	Chyba v riadiacom programe	Zlé prepočítanie dĺžok lineárneho posuvu	Poškodenie konštrukcie
3	Chyba v riadiacom programe	Zlé prepočítanie odpalu loptičky pri veľkej rýchlosti, ktoré môže zapríčiniť odpalu loptičky mimo hraciu plochu	Poškodenie konštrukcie, prípadne okolia, možný úraz
4	Chyba v riadiacom programe	Detekcia ruky namiesto loptičky pri posunutí, zdvihnutí loptičky z hracej plochy stola	Úraz
5	Zlyhanie obsluhy	Náhodné zapnutie	Poškodenie konštrukcie, prípadne okolia, možný úraz
6	Zlyhanie obsluhy	Narušenie pracovného priestoru	Poškodenie konštrukcie, prípadne okolia, možný úraz
7	Poškodenie elektroinštalácie	Skrat	Úraz, požiar, poškodenie el. z.
8	Normálny prevádzka	Zahriatie motorov	Popálenie

6.2 Voľba bezpečnostných prvkov

Pri voľbe bezpečnostných prvkov sa dbal dôraz na identifikáciu rizík robotického stolného futbalu z Tab. 14. Ďalej sa kládol dôraz na veľkosť, umiestnenie a množstvo jednotlivých bezpečnostných prvkov. Výsledkom výberu bolo jedno hlavné E – Stop (*Emergency Stop*) tlačidlo Obr. 76, ktoré bude umiestnené pod hlavným vizuálnym panelom vedľa hlavného vypínača a ďalším bezpečnostným prvkom výberu bola optická brána Obr. 77, ktorá bude umiestnená nad hraciu plochu stolného futbalu.



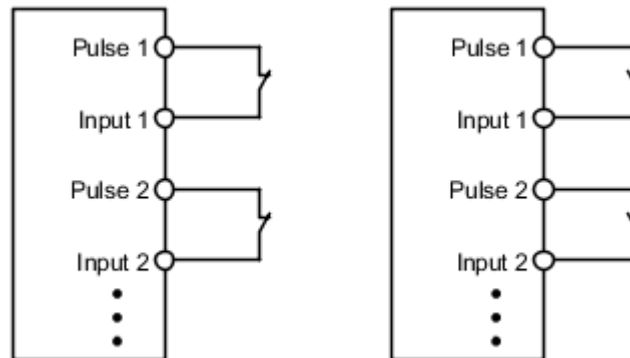
Obr. 76: Bezpečnostný prvok E – Stop tlačidlo a hlavný vypínač



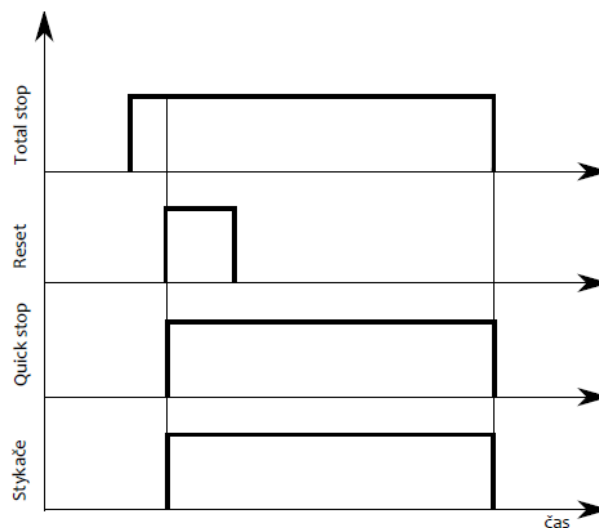
Obr. 77: Optická brána umiestnená nad hracou plochou robotického stolného futbalu

6.2.1 Zapojenie bezpečnostných prvkov

Pre komunikáciu medzi jednotlivými bezpečnostnými prvkami a riadiacou jednotkou SafePLC použijeme modul systému X20, ktorý je spomínaný v kap. 4.4.5 Systém X20 v bode č. 5 Modul pre bezpečnostné vstupy/výstupy X20SLX842. Tlačidlo E – Stop (prípadne Total Stop), je rozpínací kontakt, ktorý je pripojený k vstupom bezpečnostného SafePLC (Obr. 78). V prípade, že tlačidlo nie je zatlačené do riadiaceho SafePLC prichádza digitálna hodnota 1, v opačnom prípade 0. Vývojový diagram pre zastavenia robotického stolného futbalu môžeme vidieť na Obr. 79.



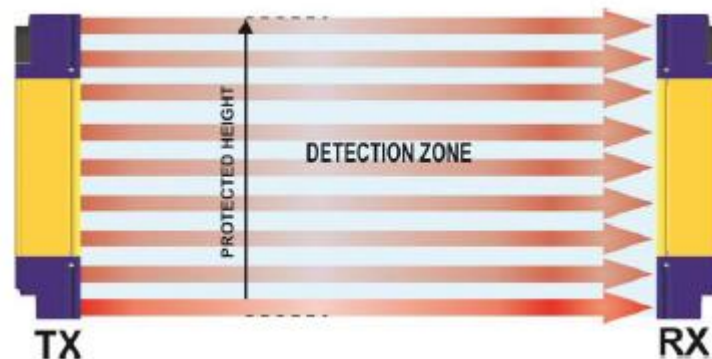
Obr. 78: Zapojenie E – Stop tlačidla na vstup riadiaceho SafePLC



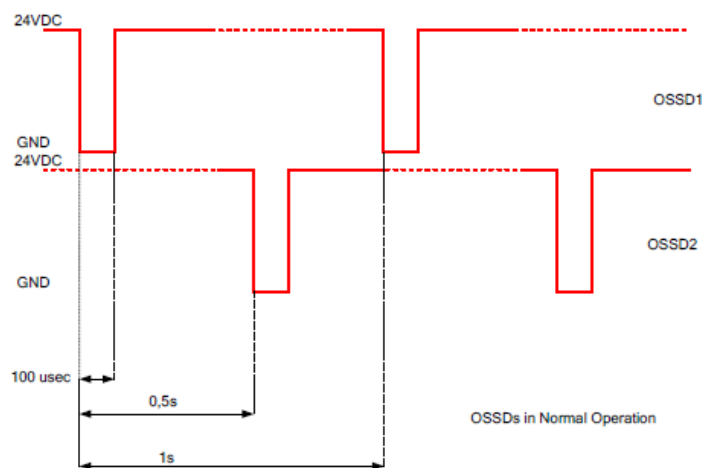
Obr. 79: Vývojový diagram zastavenia stroja pomocou Total stopu (E – Stop)

Pri zapojení optickej brány od firmy Datalogic bolo potrebné klásť dôraz na správne umiestnenie jednotlivých častí brány. Brána sa skladá z dvoch častí, ktoré sú vysielač a prijímač. Umiestnenie je potrebné uložiť oproti sebe a dbať na veľmi veľkú presnosť aby prijímač zaznamenával hodnoty signálu, ktoré sú vysielané z optickej brány. Vysielač TX (Emitter) vysiela dva signály, ktoré majú názov OSSD1, OSSD2, ktoré prijíma tzv. Receiver (RX). Pre chod riadiacej aplikácie je potrebné použitie aspoň jedného z daných

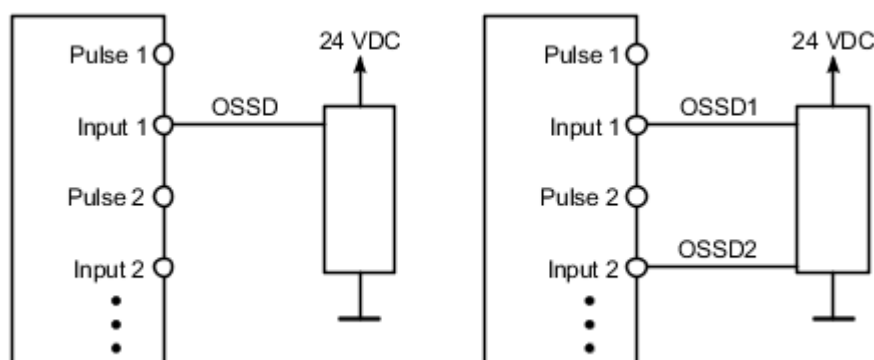
signálov ale pre väčšiu presnosť sme sa rozhodli použiť oba signály. Prepojenie optickej brány, ktoré sú zapojené na vstupy riadiaceho SafePLC môžeme vidieť na Obr. 82.



Obr. 80: RX (Receiver) – Prijímač, TX (Emitter) - Vysielač



Obr. 81: Vzorový test časovania jednotlivých signálov z optickej brány



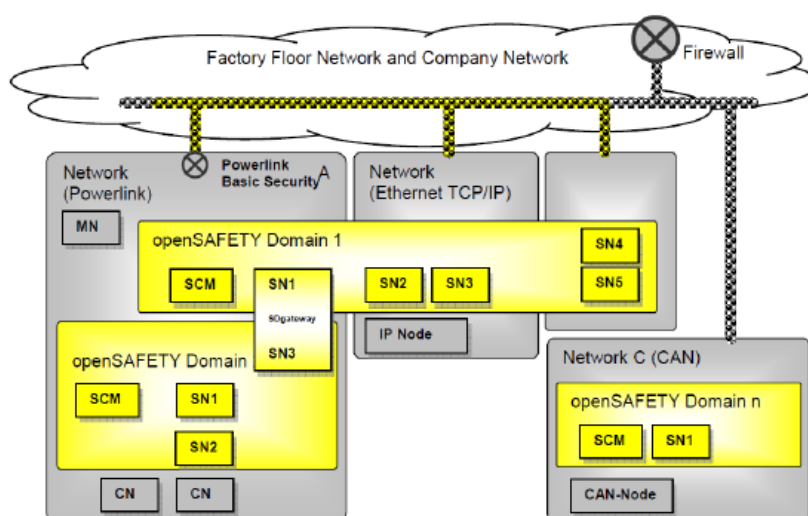
Obr. 82: V ľavej časti je prepojenie v prípade použitia jedného signálu OSSD, v pravej časti je ideálne pripojenie, ktoré je použité na robotickom stolnom futbale pri prepojení oboch signálov OSSD1, OSSD2

Výstup z bezpečnostného riadiaceho SafePLC bude vedený na vstup (*Enable*) do každého servozosilovača Acopos Micro. V prípade, že nie je zatlačené E – Stop tlačidlo a signály OSSD1, OSSD2 sú vysielané a prijímané, teda riadiace SafePLC dostáva od oboch bezpečnostných prvkov na vstup digitálnu hodnotu 1, na výstupe sa nám objaví rovnako digitálna hodnota 1, ktorý vysiel signál pre spustenie servozosilovačov a teda aj pre spustenie motorov. V prípade spustenie jedného alebo oboch bezpečnostných prvkov, následne vypne servozosilovače a tým aj motory. Viac o riadení riadiaceho programu v kap. 6.4 Návrh a implementácia bezpečnostnej aplikácie.

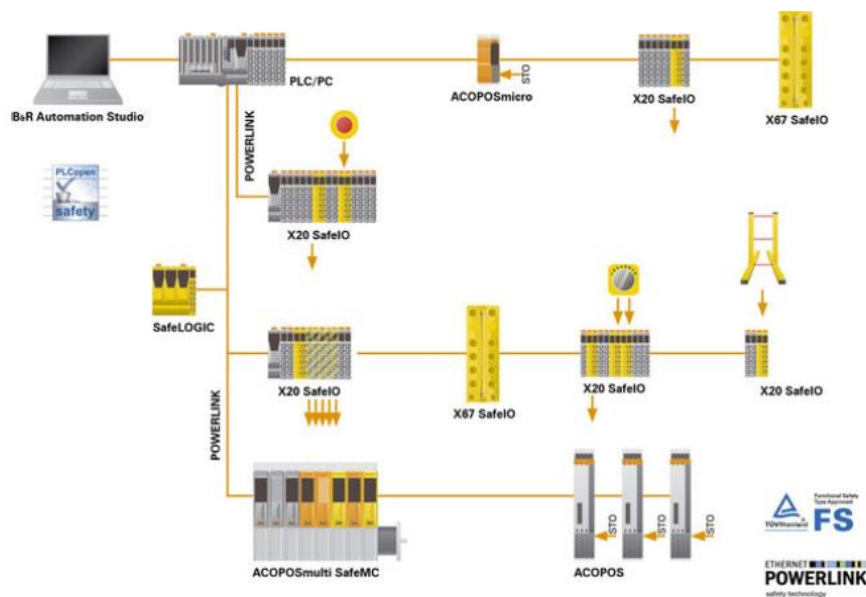
6.3 Protokol openSAFETY

Vývojom aplikácií nových foriem bezpečnostných komponent sa znížili finančné náklady na zabezpečenie strojov, pri zachovaní alebo rastúcej úrovni zabezpečení. To bolo hlavným predmetom spoločnosti EPSG (*European Powerlink Standardization Group*) pre vytvorenie nového otvoreného bezpečnostného komunikačného protokolu openSAFETY. Protokol openSAFETY je bezpečnostný protokol, ktorý bol testovaný podľa normy IEC 61784-3 (*Functional Safety Communication Profiles*). OpenSAFETY bol prijatý ako protokol FSCP 13 a bol schválený národnými komisiami reprezentujúcimi 27 členských zemí IEC a stal sa tak platným medzinárodným štandardom.

Protokol openSAFETY je autonómny protokol, nezávislý na použitej komunikačnej zbernici. Tento protokol je vložený do štandardného komunikačného protokolu, napr. POWERLINK tak, aby štandardné dáta a bezpečnostné dáta mohla využívať rovnakú sieť. Vychádza z klasickej komunikácie producer/consumer, kde producer odosiela dáta opatrené adresou, consumer ich naopak prijíma. Vďaka flexibilnému použitiu rámcov je použiteľný pro rôzne aplikácie. [33]



Obr. 83: použitie openSAFETY nad niekoľkými protokolmi [33]



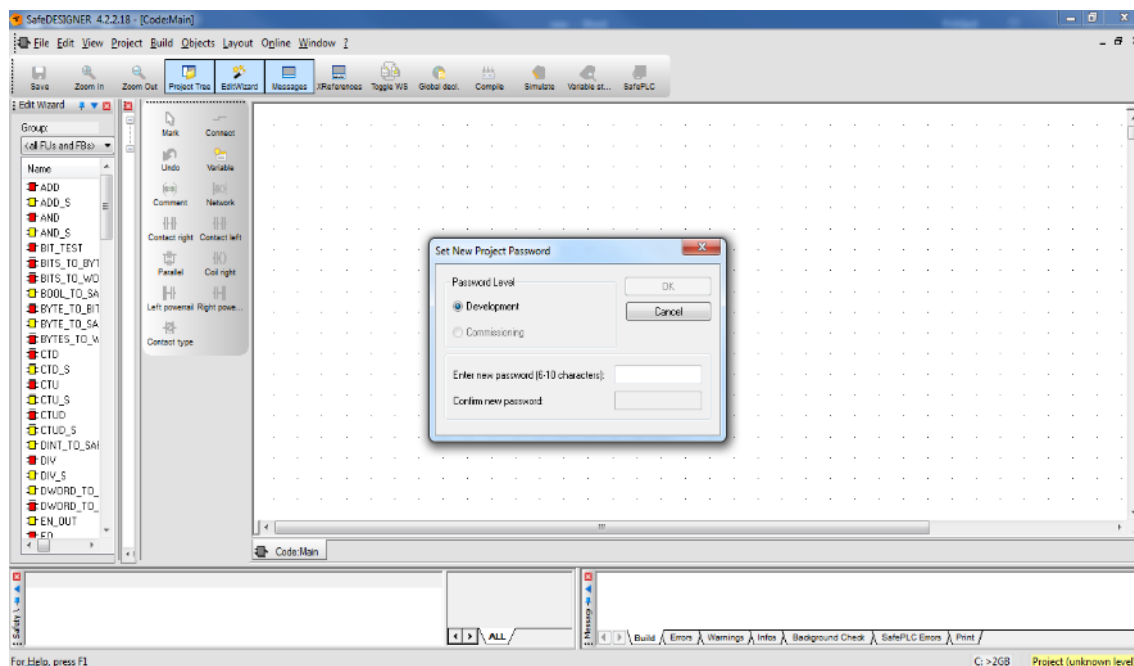
Obr. 84: Topológia openSAFETY [33]

6.4 Návrh a implementácia bezpečnostnej aplikácie

Pri návrhu a implementácii bezpečnostnej aplikácie budeme používať nástroj, ktorý bol vytvorený firmou B&R a má názov SafeDESIGNER. Prvá časť návrhu sa bude zaoberať predstavením vývojového nástroja SafeDESIGNER s jeho funkčnými blokmi, ktoré budú ďalej použité v riadiacej aplikácii. Ďalšia časť sa bude zaoberať vytvorením riadiacej aplikácie a prepojením vstupov/výstupov s riadiacim SafePLC. Posledná časť bude venovaná testovaniu navrhnutej aplikácie a zhodnoteniu výsledkov.

6.4.1 SafeDESIGNER

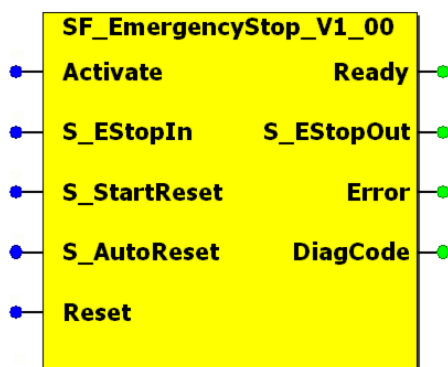
SafeDESIGNER je softwarový nástroj od firmy B&R, ktorý sa používa na vývoj bezpečnostných aplikácií pre tzv. SafePLC. Vychádza z normy IEC 61131 – 3 a spĺňa všetky bezpečnostné požiadavky na vývojový proces definovaný v IEC 61508. Software obsahuje editor, ktorý používame na vývoj riadiaceho programu SafePLC pomocou grafických jazykov FBD (*Function Block Diagram*) a LD (*Ladder Diagram*), ktoré sú určené normou IEC. Pomocou nástroja SafeDESIGNER môžeme bezpečnostnú aplikáciu editovať, kompilovať, sťahovať do riadiaceho SafePLC a taktiež kontrolovať, či ladiť atď. Systém poskytuje možnosť používať knižnice, ktoré sú určené normou PLCopen pre bezpečnostné prvky (E – Stop, bezpečnostné dvere, optická brána atď.). Používateľské rozhranie umožňuje obmedziť práva na úpravu projektov len pre autorizovaných užívateľov alebo vymedziť práva pre užívateľov na sledovanie aplikácie. Užívateľské rozhranie SafeDESIGNER spolu s prihlasovacím oknom môžeme vidieť na Obr. 85.



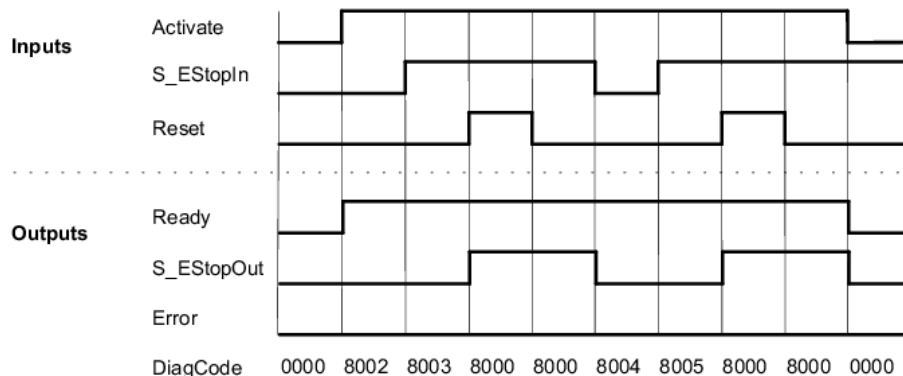
Obr. 85: Uživatelské rozhranie SafeDESIGNER spolu s prihlasovacím oknom

6.4.2 Použité knižnice PLCopen pre bezpečnostné prvky stolného futbalu

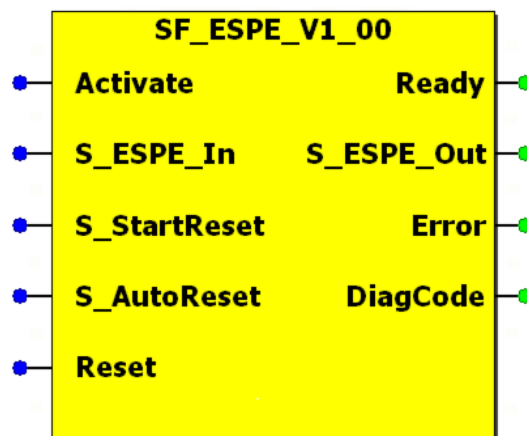
Pri vytváraní riadiaceho programu vo vývojovom nástroji SafeDESIGNER sme sa rozhodli použiť dva funkčné bloky v závislosti na bezpečnostných prvkoch, ktoré sa nachádzajú na robotickom stolnom futbale. Použité knižnice sú normalizované a schválené bezpečnostnou komorou, tým pádom nemusíme vytvárať vlastné knižnice, čo nám ušetrí čas. Prvá knižnica, ktorú budeme používať, bude slúžiť pre riadenie signálu z E – Stop tlačidla (*SF_EmergencyStop_V1_00*), ktorej vstup bude signál z tlačidla a automatický reset, ktorý riešime vo vývojovom programe Automation Studio. Ďalšia knižnica, ktorú budeme používať slúži pre riadenie optickej brány (*SF_ESPE_V1_00*), ktorej vstup budú signály OSSD1, OSSD2 z optickej brány a automatický reset, ktorý taktiež ako v predošlom prípade riešime z Automation Studia.



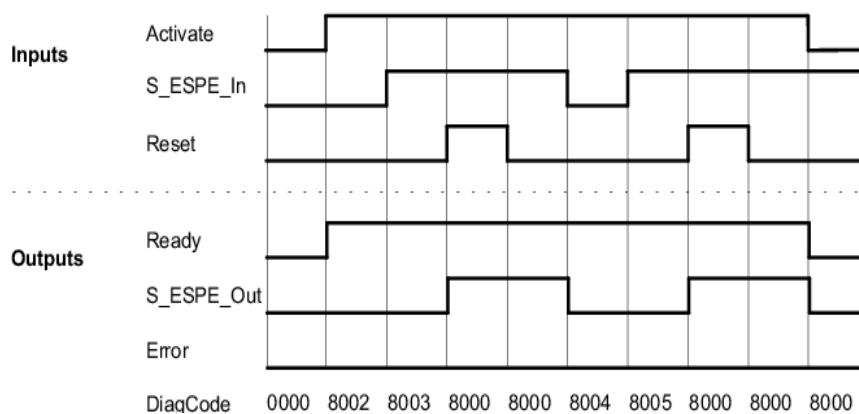
Obr. 86: Funkčný blok pre riadenie E – Stop tlačidla [34]



Obr. 87: Diagram priebehu funkčného bloku pre E – Stop tlačidlo [34]



Obr. 88: Funkčný blok pre riadenie optickej brány [34]



Obr. 89: Diagram priebehu funkčného bloku pre optickú bránu [34]

Použitie predpony *S_* pri názve vstupu alebo výstupu značí premennú, ktorá je typu *SAFE*, čo znamená špeciálnu premennú, ktorá sa používa pri bezpečnostnej aplikácii.

Používa sa pri vstupných a výstupných signáloch bezpečnostných prvkov a pri resetovaní, či uvoľňovaní bezpečnostných prvkov. [34]

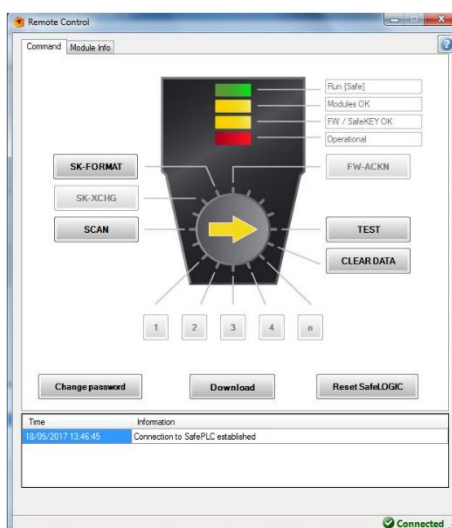
6.4.3 Tvorba bezpečnostnej aplikácia SafePLC

Pri tvorbe bezpečnostnej aplikácie bolo potrebné na začiatku nadviazať komunikáciu s riadiacim SafePLC, ktoré sme si pridali do konfigurácie systému. Po nadviazaní komunikácie sme si v konfigurácii SafePLC nastavili, že spúšťanie hodnôt výstupného signálu bude prebiehať cez vývojový nástroj SafeDESIGNER (*via SafeLOGIC*) vid' Obr. 90, čo nám ušetrí čas a zlepší prehľadnosť algoritmu v hlavnej časti.

Name	Value	Description
X20SLX842		
Function model	default	Module operating mode
General		
Module supervised	on	Service mode if there is no hardware module
Channel status inf...	on	Additional channel status information
State number of 2...	off	State number information of 2-channel evaluation
Restart inhibit stat...	off	Provide restart inhibit state numbers
SafeLOGIC ID	1	
SafeMODULE ID	1	
SafeDESIGNER ...	SafeLOGIC-1	
SafeDESIGNER ...	4.2.2.18	Requires SafeDESIGNER 4.2.1 or higher
Output signal path		
DigitalOutput01	via SafeLOGIC	
DigitalOutput02	via SafeLOGIC	
DigitalOutput03	via SafeLOGIC	
DigitalOutput04	via SafeLOGIC	
DigitalOutput05	direct	
DigitalOutput06	direct	

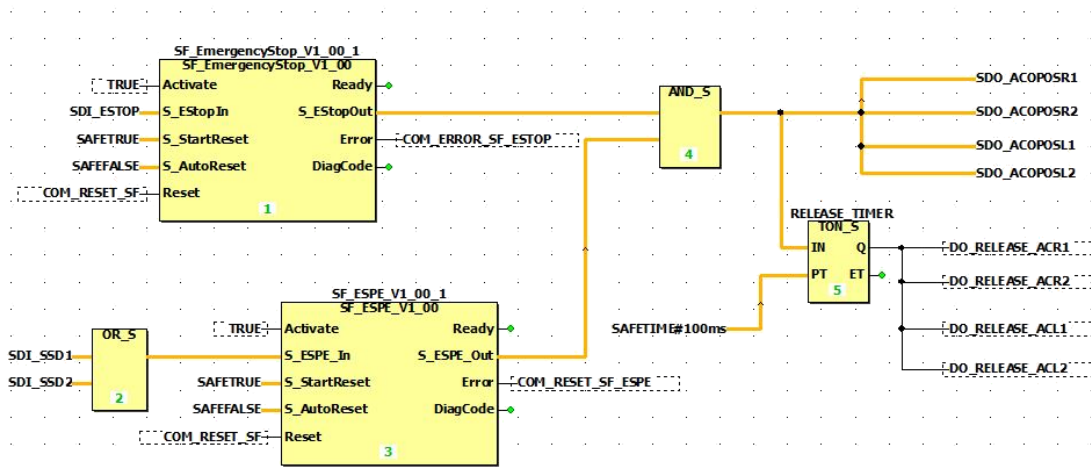
Obr. 90: Nastavenie spúšťanie výstupných hodnôt cez SafeDESIGNER

Po nastavení sme si spustili SafeDESIGNER a vytvorili užívateľské konto, ktoré bude slúžiť pre opätovné prihlasovanie do aplikácie. Následne sme nadviazali spojenie cez užívateľského konto s riadiacim SafePLC, pomocu nástroja, ktorý má názov *Remote Control* vid'. Obr. 91. Remote Control je nástroj, pomocou ktorého dokážeme nahrávať, kontrolovať, diagnostikovať atď. SafePLC.



Obr. 91: Riadiaci nástroj Remote Control

Následne po nadviazaní komunikácie sa vytvoril aplikáciu v normalizovanom jazyku FBD Obr. 92, ktorý zariadil prepojenie SafePLC s bezpečnostnými prvkami. Jednotlivé premenné, ktoré sú použité vo vytvorenom programe sme namapovali na prvky vstupov/výstupov SafePLC X20SLX842 vid' Obr. 93.



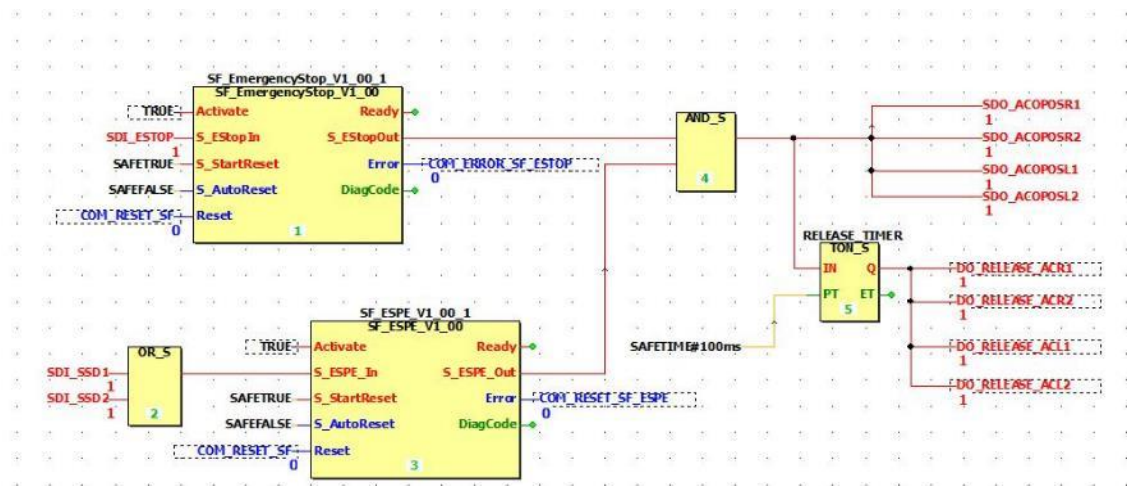
Obr. 92: Riadiaca aplikácia v jazyku FBD pre riadenie SafePLC

	Name	Data type	Descrip...	Terminal	Init
1	NewGroup				
2	SDI_ESTOP	SAFEBOOL		SL1.SM1.SafeDigitalInput03	
3	COM_RESET_SF	BOOL		SL1.SM1.BOOL101	
4	COM_ERROR_SF_ESTOP	BOOL		SL1.SM1.BOOL001	
5	SDO_ACOPOS1	SAFEBOOL		SL1.SM1.SafeDigitalOutput01	
6	DO_RELEASE_ACR1	BOOL		SL1.SM1.ReleaseOutput01	
7	DO_RELEASE_ACR2	BOOL		SL1.SM1.ReleaseOutput02	
8	DO_RELEASE_ACL1	BOOL		SL1.SM1.ReleaseOutput03	
9	DO_RELEASE_ACL2	BOOL		SL1.SM1.ReleaseOutput04	
10	SDO_ACOPOS2	SAFEBOOL		SL1.SM1.SafeDigitalOutput02	
11	SDO_ACOPOS1	SAFEBOOL		SL1.SM1.SafeDigitalOutput03	
12	SDO_ACOPOS2	SAFEBOOL		SL1.SM1.SafeDigitalOutput04	
13	SDI_SSD1	SAFEBOOL		SL1.SM1.SafeDigitalInput01	
14	SDI_SSD2	SAFEBOOL		SL1.SM1.SafeDigitalInput02	
15	COM_RESET_SF_ESPE	BOOL		SL1.SM1.BOOL002	

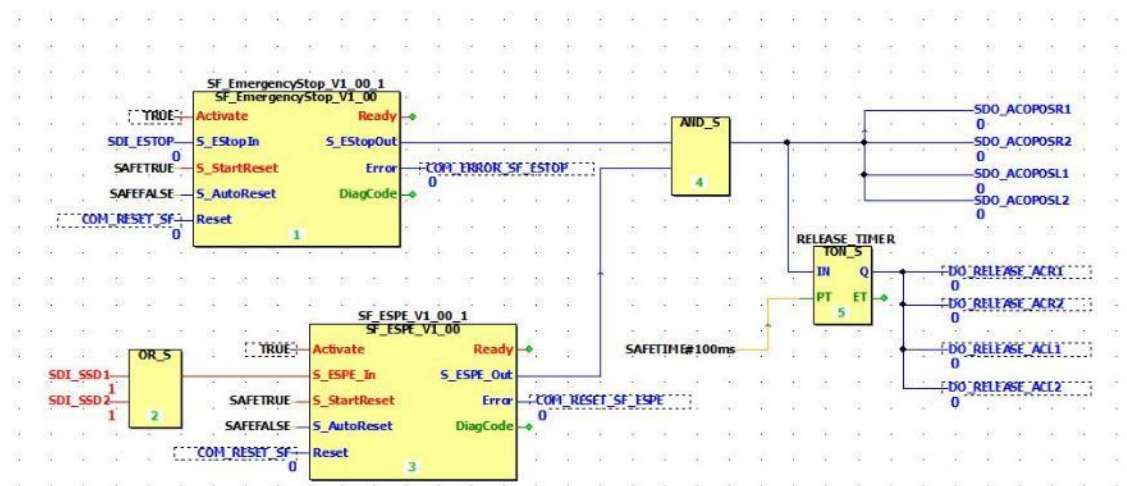
Obr. 93: Mapovanie vstupov/výstupov na prvky SafePLC

6.4.4 Testovanie vytvorenej aplikácie

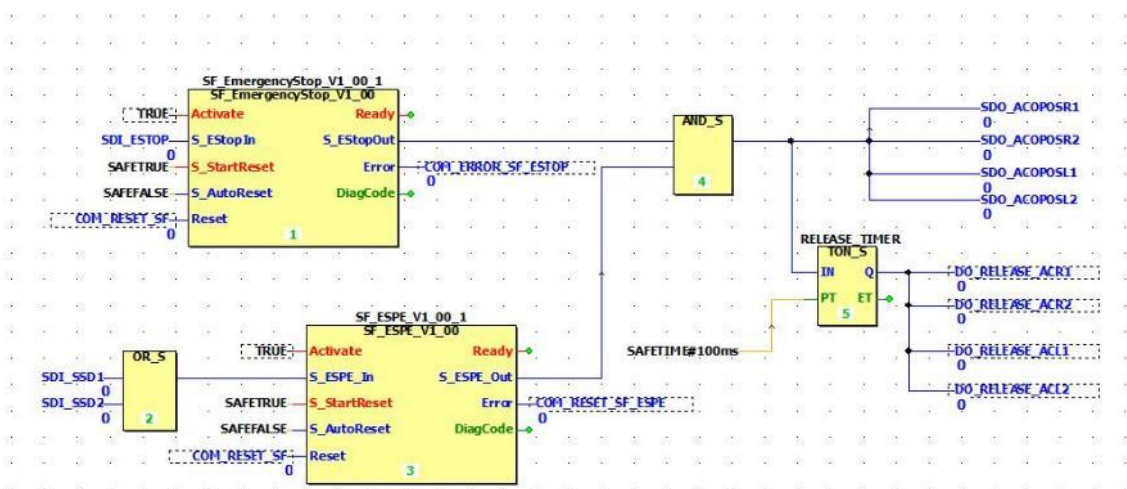
Po vytvorení riadiacej aplikácie sme program nahrali do riadiaceho SafePLC, kde sme skúmali funkčnosť aplikácie. Aplikácia javila veľmi dobré výsledky, automatické resetovanie jednotlivých prvkov bolo dostatočne rýchle. Pri vkladaní ruky do hracej plochy, kde cieľom bolo posunutie alebo odobratie loptičky sa testovala rýchlosť vypínania motorov a spätná reakcia pri opätovnom zapínaní. Testovanie prebehlo úspešne a neboli spozorované žiadne nedostatky, tým pádom sme mohli považovať vývoj bezpečnostnej aplikácie za úspešne dokončený. Ukážky spätnej väzby, prijímané do aplikácie môžeme vidieť na Obr. 94 až Obr. 96. Ukážka č. 1 E – Stop tlačidlo je uvoľnené a cez optickú bránu neprechádza žiadny objekt, výstupný signál má hodnotu 1, povoľuje pohyb motorom (spúšťa servozosilovač). Ukážka č. 2 zatlačené E – Stop tlačidlo, výstupný signál má hodnotu 0. Ukážka č. 3 oba bezpečnostné prvky sú aktívne, tým pádom je výstup 0, rovnako ako v predošlom príklade.



Obr. 94: Ukážka č.1



Obr. 95: Ukážka č.2



Obr. 96: Ukážka č.3

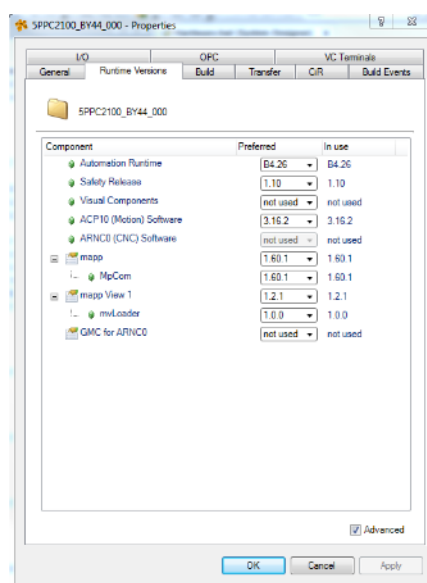
7 NÁVRH A IMPLEMENTÁCIA RIADENIA

Ako už z názvu vyplýva kapitola sa bude zaoberať návrhom a implementáciou riadenia, presnejšie riadiaceho algoritmu pre robotický stolný futbal. Pri vytváraní riadiaceho algoritmu budeme čerpať zo znalostí z predošlých kapitol, predovšetkým z kapitoly 5, ktorá má názov simulácia.

Prvá časť kapitoly sa bude zaoberať konfiguráciou Automation Studia a použitých zariadení, ktorá bude zakončená vytvorením hardwarovej konfigurácie. Ďalej sa daná časť bude zaoberať nastavením komunikácie a vytvorením cyklických tried. Druhá časť sa bude zaoberať konfiguráciou jednotlivých osí motorov vo vývojovom prostredí Automation Studio, nastavením parametrov lineárneho a rotačného motoru. Ďalším krokom časti bude správne nastavenie parametrov pre regulátory jednotlivých motorov. Tretia časť sa bude zaoberať návrhom softwarovej časti a hlavnými funkčnými blokmi, ktoré budú použité pri riadení robotického stolného futbalu. Koniec tretej časti kapitoly bude venovaný vývojovému diagramu, ktorý bude znázorňovať stavový automat riadenia pre automatizovaný stolný futbal. Posledná štvrtá časť bude venovaná testovaniu náročnosti zaťaženia procesoru pri vykonávaní riadiaceho programu.

7.1 Konfigurácia Automation Studia

Pred začatím konfigurácie jednotlivých komponentov si do Automation Studia nahráme všetky najnovšie verzie komponentov a vývojových technológií, ktoré budeme počas vytvárania riadiacej aplikácie používať. Používané verzie jednotlivých technológií môžeme vidieť na Obr. 97. Najnovšie verzie a jednotlivé komponenty použité v hardwarovej konfigurácii Automation Studia môžeme vidieť v Tab. 15. Popis jednotlivých komponentov uvádzam v kap. 4 Úprava robotizácie stolného futbalu.

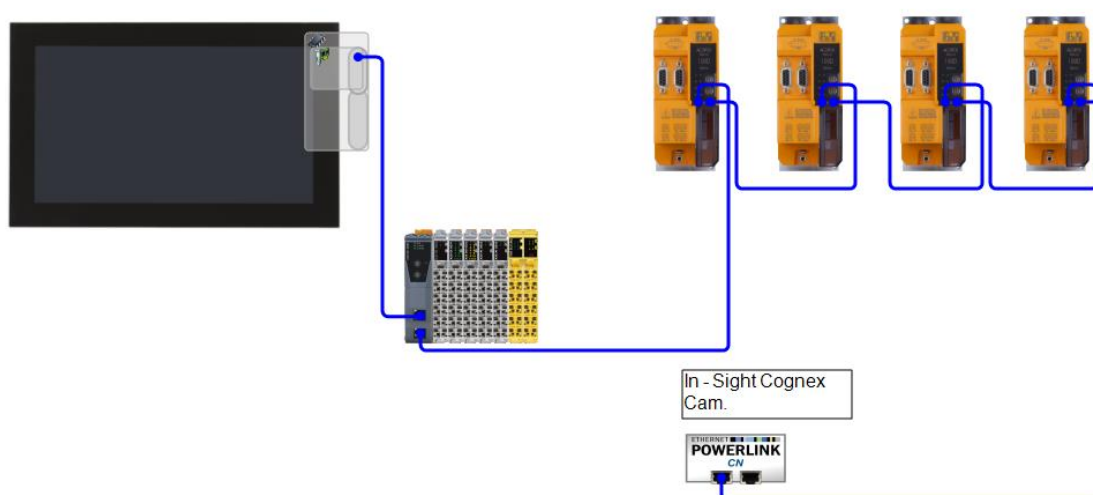


Obr. 97: Aktuálne použité verzie technológií pre vytváranie riadiaceho programu

Tab. 15: HW komponenty použité v Automation Studiu

Typ	Pozícia	Verzia
5AP933.126B-00	-	1.4.0.1
5PPC2100_BY44_000	SY1	1.2.4.0
5ACCIF01.FPSC-000	SL1	1.2.1.0
Powerlink	IF1	-
X20BB80	ST1	1.0.0.2
X20BC0083	SL1	2.5.2.0
X20PS9400	PS1	1.0.2.4
X2X	IF1	-
X20DI9371	ST2	1.0.1.3
X20DO9322	ST3	1.0.3.0
X20AI2622	ST4	1.0.3.1
X20AI2632	ST5	1.1.5.1
X20SLX842	ST6	1.10.1.2
80VD100PD.C000-01	ST2	2.0.1.0
80VD100PD.C188-01	ST3	2.0.1.0
80VD100PD.C000-01a	ST4	2.0.1.0
80VD100PD.C188-01a	ST5	2.0.1.0
In-Sight Cognex Cam.	ST6	4.8.0

Po stiahnutí jednotlivých verzií a usporiadaní rozloženia HW komponentov vytvoríme konfiguráciu v Automation Studiu (Obr. 98). Môžeme si všimnúť, že v HW konfigurácií sa nenachádzajú použité motory. Vzhľadom na to, že servozosilovač AcoposMicro obsahuje *EnDat* (typ pripojenia motorov), nie je potrebné do hardwarovej konfigurácie pridávať motory, Automation Studio si jednotlivé motory sám identifikuje.



Obr. 98: Hardwarová konfigurácia robotického stolného futbalu v AS

7.1.1 Nastavenie komunikácie

Pre nastavenie komunikácie vo vývojovom prostredí AS sa používajú rôzne typy komunikácií: ethernetová komunikácia, Powerlink V2 komunikácia. Obe zmieňované typy komunikácií budú v riadiacej aplikácii použité. Keďže riadiace PLC, ktoré má názov APC2100 používa operačný systém *Automation Runtime* (operačný systém firmy B&R) a hlavný panel používa os. Windows, bolo potrebné využiť tzv. *Bridge* (most). Bridge slúži na spájanie viacerých zariadení. Pracuje na linkovej vrstve modelu ISO/OSI. Nastavenia pre ethernetovú komunikáciu môžeme vidieť v Tab. 16 a pre komunikáciu Powerlink V2 v Tab. 17.

Tab. 16: Nastavenie – Ethernetová komunikácia

	IP Adresa	Maska
PC ↔ Hlavný panel	172.25.15.100 ↔ 172.25.15.67	255.255.240.0
Hlavný panel ↔ APC2100	172.25.10.67 ↔ 172.25.10.68	255.255.240.0

Tab. 17: Nastavenie – komunikácie Powerlink V2

	ID. Systém X20	ID. AcoposMicro	ID. Kamera
Identifikačné číslo stanice	1	2 – 4	5
Doba cyklu	2000 µs		

7.1.2 Nastavenie cyklických tried

Programovateľný logický automat (PLC) je cyklicky riadené zariadenie, kde jednotlivé činnosti sa prevádzajú opakovane v cykloch. V Automation Studiu bolo potrebné pred spustením riadiaceho programu priradiť daný program do určitej cyklickej triedy, ktorá má stanovenú svoju periódu cyklu, toleranciu, priority a ďalšie vlastnosti. Priorita cyklickej triedy je stanovená poradím, na ktorom mieste triedy sa program nachádza. Trieda č.1 má najvyššiu prioritu, trieda č. 8 najnižšiu. Pri riadení motorov bolo potrebné použiť čo najmenšiu periódu cyklu a nulovú toleranciu, avšak perióda musí byť v násobkoch doby cyklu pre Powerlink V2 z Tab. 17.

Hlavnému riadiacemu programu bola pridelená cyklická trieda č.1, ktorej bola nastavená tolerancia 0 a doba cyklu 2 ms. Pri riadení sme použili pomocný program, ktorý slúžil na spúšťanie webovej stránky pri štarte robotického stolného futbalu. Tento program sa vykonal len raz, na začiatku, a preto mu bola pridelená cyklická trieda č.4, ktorej bola nastavená doba cyklu 100 ms. Vytvorenie spomínaných cyklických tried pre hlavný program (*table_football* skratka *table_foot*) a pomocný program (*Client*) môžeme vidieť na Obr. 99.

Object Name	Version	Transfer To	Size (bytes)	Source	Source File	Description
Cyclic #1 - [2 ms]						
table_foot	1.00.0	UserROM	73560	Real_Game.Technology.table_foot...	RTFProjRG...	Roman Parák program for real game.
Cyclic #2 - [10 ms]						
Cyclic #3 - [50 ms]						
Cyclic #4 - [100 ms]						
Client	1.00.0	UserROM	3920	Connection.Client	RTFProjRG...	AsUDP Client Application
Cyclic #5 - [200 ms]						
Cyclic #6 - [500 ms]						
Cyclic #7 - [1000 ms]						
Cyclic #8 - [10 ms]						
Data Objects						
ass1	1.00.0	UserROM	54004		RTFProjRG...	
No Data Objects						
Visualization						
Binary Objects						
Library Objects						
Source Objects						
reACTION Technology Objects						
Configuration Objects						

Obr. 99: Vytvorenie cyklických tried

7.2 Konfigurácia osí motorov

Pri konfigurácii osí motorov, bolo pri vkladaní jednotlivých servosozilovačov AcoposMicro cez Powerlink automaticky spustený sprievodca konfiguráciou. Vzhľadom na skutočnosť, že lineárne motory LinMot nepatria pod motory od firmy B&R, konfigurácia týchto motorov bola preskočená a prebehla dodatočne ručným nastavením. V konfigurácii sme volili jazyk pre prípadné chybové hlásenia, názvu reálnej a virtuálnej osi, možnosť nastavenia koncových spínačov atď. Názov pre reálnu osu je špecifický a používa sa ako referencia pri programovaní riadiaceho algoritmu. Posledný krok konfigurácie osí bolo nastavenie parametrov servozosilovača vid'. Obr. 100.

Name	Value	Description
80VD100PD.C000-01		
Simulation		
Simulation mode	none	
Number of real axes	2	
Number of virtual axes	2	
POWERLINK parameters		
Mode	controlled node	
Response timeout [µs]	25	
Multiplexed station	off	
Advanced Optimization		
Optimization	data throughput	
Chained station	off	
Process Data Mapping		
Configuration	Double Axis	Modules operating mode
Dynamic Node Allocation		
DNA	off	

Obr. 100: Nastavenie parametrov servozosilovača

Po úspešnom dokončení konfigurácií jednotlivých servozosilovač Automation Studio vytvorilo objekty, ktoré majú názvy osí pre použitie v riadiacom programe. Na Obr. 101 sú znázornené objekty osí vytvorených v konfiguračnej časti programu. Na Obr. 101 sú taktiež zobrazené rôzne parametre ako napr. *ncAXIS*, ktorá udáva informáciu o druhu práce z reálnou osou, kanál špecifikuje umiestnenie objektu osi na výstupe servozosilovača, hardwarový modul, PLC adresa reálneho zariadenia, referencia na inicializačné parametre a parametre servozosilovača (viď kap. 7.2.1, 7.2.2) atď. Môžeme si všimnúť, že je vypnutá práca z virtuálnou osou pri simulácii. Dôvodom je, že pre simuláciu sa tvoril vlastný program, v ktorom bola vytvorená identická konfigurácia, avšak s inými názvami referencií.

NC Object Name	Hardware Module Name	PLC Address	NC Object Type	Channel	Simulation	NC INIT Parameter	ACOPOS Parameter	Additional ...	Description
rotaryGK	80VD100PD.C000-01	SL1.IF1.ST2	ncAXIS	1	Off	rotaryGKi	rotaryGKa		
rotaryDF	80VD100PD.C000-01	SL1.IF1.ST2	ncAXIS	2	Off	rotaryDFi	rotaryDFa		
80VD100PD.C000-01_ncV_AXIS1	80VD100PD.C000-01	SL1.IF1.ST2	ncV_AXIS	1					
80VD100PD.C000-01_ncV_AXIS2	80VD100PD.C000-01	SL1.IF1.ST2	ncV_AXIS	2					
linearGK	80VD100PD.C188-01	SL1.IF1.ST3	ncAXIS	1	Off	linearGKi	linearGKa		
linearDF	80VD100PD.C188-01	SL1.IF1.ST3	ncAXIS	2	Off	linearDFi	linearDFa		
80VD100PD.C188-01_ncV_AXIS1	80VD100PD.C188-01	SL1.IF1.ST3	ncV_AXIS	1					
80VD100PD.C188-01_ncV_AXIS2	80VD100PD.C188-01	SL1.IF1.ST3	ncV_AXIS	2					
rotaryMD	80VD100PD.C000-01a	SL1.IF1.ST4	ncAXIS	1	Off	rotaryMDi	rotaryMDa		
rotaryFW	80VD100PD.C000-01a	SL1.IF1.ST4	ncAXIS	2	Off	rotaryFWi	rotaryFWa		
80VD100PD.C000-01a_ncV_AXIS1	80VD100PD.C000-01a	SL1.IF1.ST4	ncV_AXIS	1					
80VD100PD.C000-01a_ncV_AXIS2	80VD100PD.C000-01a	SL1.IF1.ST4	ncV_AXIS	2					
linearMD	80VD100PD.C188-01a	SL1.IF1.ST5	ncAXIS	1	Off	linearMDi	linearMDa		
linearFW	80VD100PD.C188-01a	SL1.IF1.ST5	ncAXIS	2	Off	linearFWi	linearFWa		
80VD100PD.C188-01a_ncV_AXIS1	80VD100PD.C188-01a	SL1.IF1.ST5	ncV_AXIS	1					
80VD100PD.C188-01a_ncV_AXIS2	80VD100PD.C188-01a	SL1.IF1.ST5	ncV_AXIS	2					

Obr. 101: Objekty jednotlivých osí lineárnych a rotačných motorov

7.2.1 Nastavenie parametrov rotačného motoru

Rotačný synchronný servomotor od firmy B&R obsahuje pre komunikáciu rozhranie EnDat 2.2, ktoré dokáže načítať dáta z enkóderu motoru, taktiež ich zapisovať. Firma B&R využila túto skutočnosť a implementovala načítanie dát z enkóderu motoru, tým pádom nie je potrebné jednotlivé parametre motoru zadávať ručne, prípadne načítavať zo súboru, či zadávať iným spôsobom.

Prvý krokom, v tomto prípade bude nastavenie inicializačných parametrov jednotlivých motorov. Presnosť pohybu bola nastavená na desatinu stupňa, preto bola zapísaná do riadku jednotky hodnota 3600 a do riadku otáčky hodnota 1. Tým pádom jedna otáčka motor (360°) je vydelená 3600 dielkami (jednotiek). Požadovaná presnosť je teda 0,1°. Ďalej v danom kroku nastavujeme maximálne a minimálne parametre rýchlostí a zrýchlení, dorazy (maximálny, minimálny pohyb motoru), hodnoty odchýlok atď. (Obr. 102)

V druhom kroku nastavujeme jednotlivé parametre regulátoru. Pre nastavovanie regulátoru používa firma B&R tzv. *Autotune* (automatické nastavovanie regulátorov). Servozosilovač AcoposMicro pracuje na kaskádovom koncepte regulátoru, ktorý pracuje nasledujúcim spôsobom.

Kaskádový koncept regulátoru:

1. Polohovanie na pozíciu spôsobenú nastavením hodnôt generátoru k výpočtu profilu cesty, na základe ktorého je regulátoru predkladané pole pozícií.
2. Po dosiahnutí pozície regulátoru polohy špecifikuje rýchlostný profil
3. Hlavné špecifikum regulátoru rýchlosti je držanie rýchlostného profilu čo najbližšie je možné.
4. Nastavenie prúdu pre prúdový regulátor, riadiace bipolárne tranzistory s izolovaným hradlom na výkonovom výstupe.

Na začiatku druhého kroku bol prevedené regulovanie rýchlosti, ktorý bol doplnený o filtráciu. Ďalším krokom bola regulácie pozície. (Obr. 103) V každom kroku automatickej regulácie, prebehol test riadenia jednotlivých motorov. V prípade nespokojnosti sa automatická regulácia parametrov opakovala až kým hodnoty parametrov neboli vyhovujúce pre naše potreby. Namerané priebehy rýchlosti, pozície atď. rotačného servomotoru môžeme vidieť v Prílohe C.

Name	Value	Unit	Description
ACP10AXIS_typ			
dig_in			Digital Inputs
level			Active Input Level
reference	ncACTIV_HI		Reference switch
pos_hw_end	ncACTIV_HI		Positive HW end switch
neg_hw_end	ncACTIV_HI		Negative HW end switch
trigger1	ncACTIV_HI		Trigger1
trigger2	ncACTIV_HI		Trigger2
encoder_if			Encoder interface
parameter			Parameters
count_dir	ncSTANDARD		Count direction
scaling			Scaling
load			Load
units	3600	Units	Units at the load
rev_motor	1		Motor revolutions
limit			Limit value
parameter			Parameters
v_pos	100000.0	Units/s	Speed in positive direction
v_neg	100000.0	Units/s	Speed in negative direction
a1_pos	4000000.0	Units/s ²	Acceleration in positive direction
a2_pos	4000000.0	Units/s ²	Deceleration in positive direction
a1_neg	4000000.0	Units/s ²	Acceleration in negative direction
a2_neg	4000000.0	Units/s ²	Deceleration in negative direction
t_jolt	0.001	s	Jolt time
t_in_pos	0.0	s	Settling time before message 'In Position'
pos_sw_end	3601	Units	Positive SW end
neg_sw_end	-3601	Units	Negative SW end
ds_warning	30.0	Units	Lag error limit for display of a warning
ds_stop	170.0	Units	Lag error limit for stop of a movement
a_stop	1.0E+30	Units/s ²	Acceleration limit for stop of a movement
dv_stop	0.0	1/s	Speed error limit for stop of a movement
dv_stop_mode	ncOFF		Mode for speed error monitoring

Obr. 102: Inicializačné parametre rotačného servomotoru B&R

Name	Value	Unit	Description
controller			Controller
mode	ncPOSITION + ncFF		Mode
position			Position Controller
kv	320.0	1/s	Proportional amplification
tn	0.0	s	Integral action time
t_predict	0.0004	s	Prediction time
t_total	0.0004	s	Total time
p_max	1.0E+30	Units/s	Maximum proportional action
i_max	0.0	Units/s	Maximum integral action
speed			Speed Controller
kv	1.1	As	Proportional amplification
tn	0.0	s	Integral action time
t_filter	0.0	s	Filter time constant
isq_filter1			ISQ Filter1
type	ncNOTCH		Type
a0	2338.55		Coefficient a0
a1	400.0		Coefficient a1
b0	0.0		Coefficient b0
b1	0.0		Coefficient b1
b2	0.0		Coefficient b2
c0_par_id	0		Parameter ID for coefficient c0
c1_par_id	0		Parameter ID for coefficient c1

Obr. 103: Parametre regulátoru rotačného servomotoru B&R

7.2.2 Nastavenie parametrov lineárneho motoru

Lineárny servomotor od firmy LinMot neobsahuje prepojenie z produktami firmy B&R. Tým pádom bola potreba ručne pridať parametre motoru do časti pre servozosilovač AcoposMicro. Jednotlivé parametre lineárneho motoru boli vytvorené predošlým tvorcom práce, ktoré boli neskôr mnou upravené pre ďalšie riešenie. (Obr. 104) Po pridaní parametrov lineárneho motoru LinMot sme mohli prejsť ku nastavovaniu inicializačných parametrov a parametrov regulátoru ako v predošlom prípade.

Name	ID	Value	Unit	Description
Parameters				
LinMot_PS01_23x80.xml				
LinMot: PS01-23x80/150x210				Version: 1.1
Motor				
MOTOR_TYPE	30	0x0002		Motor: Type
MOTOR_COMPATIBILITY	31	0x0203		Motor: Software compatibility
MOTOR_WIND_CONNECT	46	1		Motor: Winding connection
MOTOR_POLEPAIRS	47	1		Motor: Number of pole-pairs
MOTOR_NUM_PHASES	1208	2		Motor: Number of motor phases
MOTOR_VOLTAGE_RATED	48	72	V	Motor: Rated voltage
MOTOR_VOLTAGE_CONST	49	5.209	mV/min	Motor: Voltage constant
MOTOR_SPEED_MAX	51	18000	1/min	Motor: Maximum speed
MOTOR_TORQ_MAX	54	0.14	Nm	Motor: Peak torque
MOTOR_TORQ_CONST	55	0.035	Nm/A	Motor: Torque constant
MOTOR_CURR_MAX	58	4	A	Motor: Peak current
MOTOR_STATOR_RESIST...	60	12.5	Ohm	Motor: Stator resistance
MOTOR_STATOR_INDUC...	61	0.0014	Henry	Motor: Stator inductance
MOTOR_INERTIA	62	0.0000027	kgmp	Motor: Moment of inertia
MOTOR_COMMUT_OFFSET	63	1.5707963	rad	Motor: Commutation offset
PHASING_MODE	276	4		Motor: Phasing: Mode
MOTOR_SPEED_RATED	50	18000	1/min	Motor: Rated speed
Temperature model				
MOTOR_CURR_STALL	56	0.82	A	Motor: Stall current
MOTOR_CURR_RATED	57	0.82	A	Motor: Rated current
MOTOR_TORQ_STALL	52	0.03	Nm	Motor: Stall torque
MOTOR_TORQ_RATED	53	0.03	Nm	Motor: Rated torque
MOTOR_WIND_CROSS_S...	59	0.11	mm	Motor: Line cross section
MOTOR_TAU_THERM	849	135.72	s	Motor: Thermal time constant
MOTOR_WIND_TEMP_MAX	74	110	°C	Motor: Limit temperature
MOTOR_TEMPMODEL_RE...	1210	2		Motor: Temperature model: Reference sensor: Parameter-ID
MOTOR_TEMPMODEL_RE...	1211	0.2775	K/W	Motor: Temperature model: Thermal resistance 1
MOTOR_TEMPMODEL_CA...	1212	17.226	Ws/K	Motor: Temperature model: Thermal capacity 1
MOTOR_TEMPMODEL_RE...	1213	0.4163	K/W	Motor: Temperature model: Thermal resistance 2
MOTOR_TEMPMODEL_CA...	1214	0.348	Ws/K	Motor: Temperature model: Thermal capacity 2
TEMP_MOTOR_MODEL_M...	373	4		Motor: Temperature model: Mode
Brake				
Temperature sensor				
Encoder				

Obr. 104: Tabuľka parametrov pre prepojenie servozosilovača a lineárneho motoru LinMot

Prvý krokom, v tomto prípade bude nastavenie inicializačných parametrov jednotlivých motorov ako v predošlom prípade. Presnosť pohybu bola nastavená na desatinu milimetra. Vzhľadom na skutočnosť, že v tomto prípade nastavujeme lineárny motor bola nastavená hodnota 200 a posun 1. Ďalej v danom kroku nastavujeme, maximálne a minimálne parametre rýchlostí a zrýchlení, dorazy (maximálny, minimálny pohyb motoru), hodnoty odchýlok atď. (Obr. 105)

V druhom kroku využijeme znovu automatické ladenie regulátoru pre pozíciu a rýchlosť, ktorý bude doplnený o filter. Lineárny motor LinMot bol taktiež testovaný rovnako ako v predošlom prípade, až kým nebol vyregulovaný pre naše potreby. Jednotlivé parametre regulátoru môžeme vidieť na Obr. 106. Namerané priebehy rýchlosti, pozície atď. lineárneho motoru môžeme vidieť v Prílohe C.

Name	Value	Unit	Description
PCP16AXIS_type			Digital Inputs
dig_in			Active Input Level
reference	ncACTIV_HI		Reference switch
pos_hw_end	ncACTIV_HI		Positive HW end switch
neg_hw_end	ncACTIV_HI		Negative HW end switch
trigger1	ncACTIV_HI		Trigger1
trigger2	ncACTIV_HI		Trigger2
encoder_f			Encoder Interface
parameter			Parameters
count_dir	ncSTANDARD		Count direction
scaling			Scaling
load			Load
units	200	Units	Units at the load
rev_motor	1		Motor revolutions
limit			Limit value
parameter			Parameters
v_pos	30000.0	Units/s	Speed in positive direction
v_neg	30000.0	Units/s	Speed in negative direction
a1_pos	490000.0	Units/s ²	Acceleration in positive direction
a2_pos	490000.0	Units/s ²	Deceleration in positive direction
a1_neg	490000.0	Units/s ²	Acceleration in negative direction
a2_neg	490000.0	Units/s ²	Deceleration in negative direction
t_jolt	0.01	s	Jolt time
t_in_pos	0.0	s	Setting time before message 'In Position'
pos_sw_end	821	Units	Positive SW end
neg_sw_end	-931	Units	Negative SW end
ds_warning	200.0	Units	Lag error limit for display of a warning
ds_stop	200.0	Units	Lag error limit for stop of a movement
a_stop	1.0E+30	Units/s ²	Acceleration limit for stop of a movement
dv_stop	0.0	1/s	Speed error limit for stop of a movement
dv_stop_mode	ncOFF		Mode for speed error monitoring

Obr. 105: Inicializačné parametre lineárneho motor LinMot

Name	Value	Unit	Description
controller			Controller
mode	ncPOSITION + ncFF		Mode
position			Position Controller
kv	180.0	1/s	Proportional amplification
tn	0.0	s	Integral action time
t_predict	0.0004	s	Prediction time
t_total	0.0004	s	Total time
p_max	1.0E+30	Units/s	Maximum proportional action
i_max	0.0	Units/s	Maximum integral action
speed			Speed Controller
kv	0.2	As	Proportional amplification
tn	0.0	s	Integral action time
t_filter	0.0008	s	Filter time constant
isq_filter1			ISQ Filter1
type	ncNOTCH		Type
a0	2328.77		Coefficient a0
a1	2328.77		Coefficient a1
b0	0.0		Coefficient b0
b1	0.0		Coefficient b1
b2	0.0		Coefficient b2
c0_par_id	0		Parameter ID for coefficient c0
c1_par_id	0		Parameter ID for coefficient c1

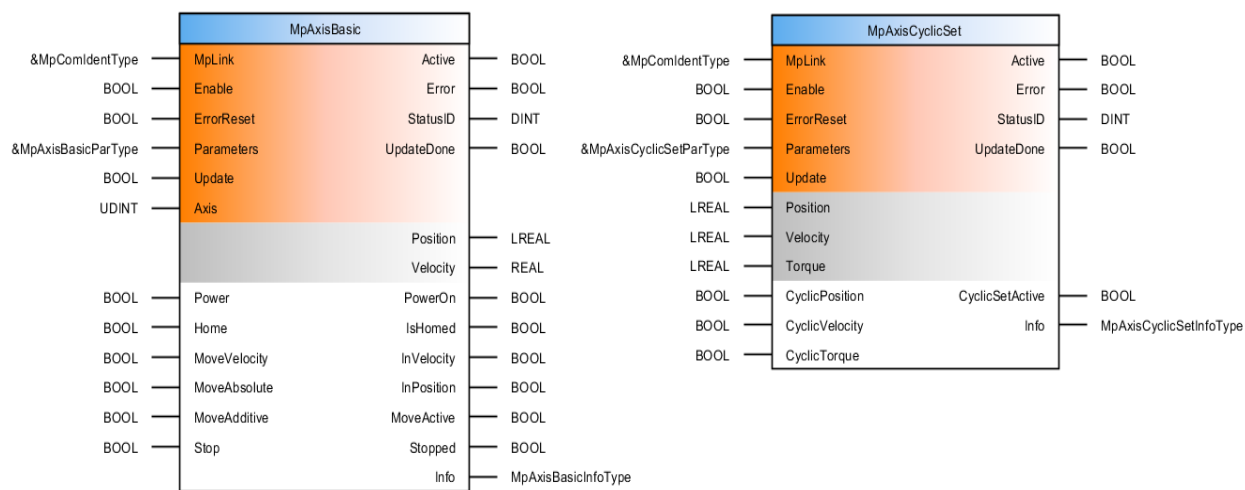
Obr. 106: Parametre regulátoru lineárneho motoru LinMot

7.3 Návrh a implementácia riadiaceho algoritmu

Základom návrhu a implementácie riadiaceho algoritmu bola tzv. technológia „Mapp“, ktorá bola vytvorená firmou B&R pre riadenie motorov, diagnostikovanie, a rôznych ďalších zariadení, ktoré firma využíva pri tvorbe automatizácie. Pre riadenie motorov boli vybraté dva základné funkčné bloky z radu Mapp. Prvý funkčný blok má názov „MpAxisBasic“ a druhý má názov „MpAxisCyclicSet“. Oba funkčné bloky v sebe zahŕňujú všetky štandardy knižnice PLCopen a špeciálne funkcie vytvorené firmou B&R.

Prvý spomínaný funkčný blok (MpAxisBasic) slúži pre zapnutie jednotlivých motorov a ich následné inicializovanie, ďalej môže byť použitý na detekciu teploty, nastavovanie parametrov, detekciu alarmov atď. Taktiež pomocou tohto bloku môžeme riadiť základné pohyby motoru (absolútne, aditívne atď.). Avšak, nie je možné týmto blokom vykonávať cyklické riadenie jednotlivých pozícií a rýchlostí, preto bol použitý

druhý spomínaný funkčný blok (MpAxisCyclicSet). V danom bloku nastavujeme pozíciu, rýchlosť, zrýchlenie atď. Výhoda funkčného bloku je cyklické prepínanie jednotlivých parametrov bez vypínania motoru, či aktualizovania parametrov. Funkčné bloky môžeme vidieť na Obr. 107, kde ľavá časť obrázku je funkčný blok „MpAxisBasic“ a pravá časť obrázku „MpAxisCyclicSet“.



Obr. 107: Funkčné bloky Mapp

Vstupné údaje do funkčných blokov Mapp boli referencie osí motorov vytvorených v kap. 7.2 – Referencie osí motorov. Taktiež bolo treba globálnu premennú referencií, ktorá je potrebná ako vstup do funkčných blokov. Globálna premenná bola vytvorená jednotlivo pre každý motor vo fyzickej časti programu. Pri spustení a inicializovaní programu prevzala globálna premenná Mapp komponenty všetky parametre referovaných osí. Názvy jednotlivých osí globálnych premenných Mapp, ktoré sú vytvorené vo fyzickej časti, môžeme vidieť na Obr. 108. Obrázok zahrňuje premenné pre lineárny typ motoru, obdobné riešenie je pre rotačný typ motoru.

Linear.mpxaxisbasic [mapp Configuration] x			
MpLink: No element selected.			
Name	Value	Unit	Description
[-] &_mappAxisLR			
[-] Axis configuration	Init Parameter Ta...		Initial axis configuration defined by the Init Parameter Table or by this file
[-] Energy measurement	None		
[-] Alarms	MpAlarm		
[-] df_mappAxisLR			
[-] Axis configuration	Init Parameter Ta...		Initial axis configuration defined by the Init Parameter Table or by this file
[-] Energy measurement	None		
[-] Alarms	MpAlarm		
[-] md_mappAxisLR			
[-] Axis configuration	Init Parameter Ta...		Initial axis configuration defined by the Init Parameter Table or by this file
[-] Energy measurement	None		
[-] Alarms	MpAlarm		
[-] fw_mappAxisLR			
[-] Axis configuration	Init Parameter Ta...		Initial axis configuration defined by the Init Parameter Table or by this file
[-] Energy measurement	None		
[-] Alarms	MpAlarm		

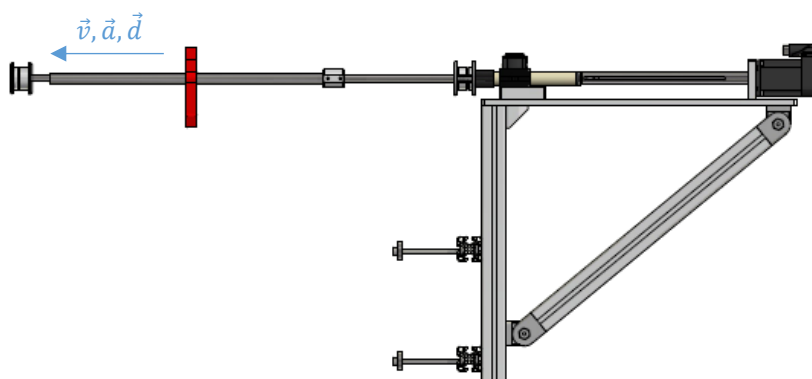
Obr. 108: Globálne premenné Mapp komponenty lineárneho motoru

7.3.1 Inicializácia jednotlivých osí motorov

Inicializácia jednotlivých osí motorov je potrebná pre správne určenie začiatkovej pozície, čo je dôležité pre ďalšie riadenie. Začiatková pozícia, môže byť pozícia, kde daný motor bude mať hodnotu 0, avšak nie je to pravidlo ktorého sa musíme držať. Po inicializovaní jednotlivých osí zaujmeme počiatočnú pozíciu pre hru robotického stolného futbalu.

V nasledujúcich krokoch si ukážeme inicializovanie jednotlivých motorov (lineárny, rotačný). Inicializácia bola navrhnutá vzhľadom na skutočnosť, že robotický stolný futbal bude vystavený prenášaniam, rôznej manipulácii s osami hráčov atď. Návrh musel byť dostatočne obsiahly a presný, aby si robot sám uvedomil kde sa momentálne nachádza a spustil presun do inicializačnej polohy.

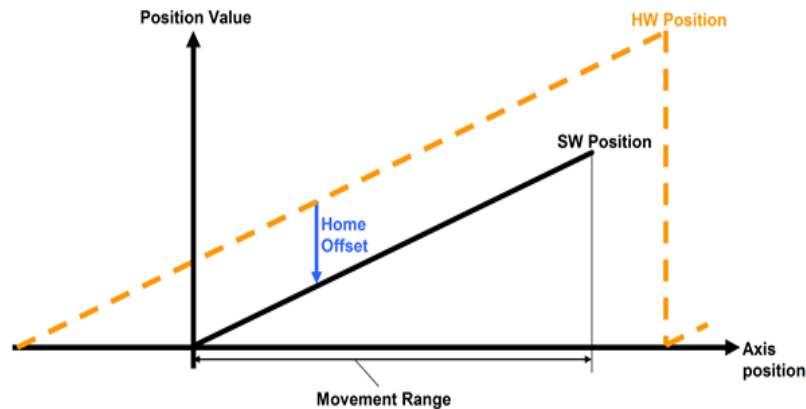
Inicializácia lineárneho motoru Obr. 108:



Obr. 109: Inicializácia lineárneho motoru

1. Nastavenie hodnoty momentu, pri ktorom sa má motor zastaviť.
2. Zaujať pohyb smerom, ktorý ukazuje Obr. 109 danou rýchlosťou, zrýchlením a spomalením.
3. V prípade zaznamenania konca, resp. hodnoty stanoveného momentu zastav a priradiť pozícií stanovenú hodnotu (maximálna pozícia). V opačnom prípade vykonaj znovu krok č.2.
4. Zaznamenaj pohyb stanovenou rýchlosťou, zrýchlením, spomalením na nulovú pozíciu.

Inicializácia rotačného motoru bola zložitejšia ako inicializácia lineárneho motoru, vzhľadom na to, že servomotor od firmy B&R neobsahuje absolútny enkóder, tým pádom si nepamätá minulú hodnotu. Preto bolo potrebné pred začatím inicializácie v diagnostickom nástroji „NcTest“ nastaviť absolútne inicializovanie osi. (Obr.110). Tzn., že sa nastavila absolútna hodnota servomotora, ktorú sme si nastavili v programe ako konštantu. Pre zistenie otočenie pri zapnutí sme si vytvorili funkčný blok, pomocou ktorého sme dokázali inicializovať rotačný motor na správnu požadovanú pozíciu, ktorú pomocou prepočítania hodnôt zaznamenal otočenie menšie ako 360°.



Obr. 110: Nastavenie absolútnej hodnoty inicializácie

Inicializovanie rotačného motoru:

1. Zistenie absolútnej hodnoty rotačného servomotora pred spustením riadiaceho programu, ktorú nastavíme ako konštantnú.
2. Vypočítanie hodnoty natočenia rotačného servomotora pomocou vytvoreného funkčného bloku. Vstupné údaje budú konštantná hodnota z kroku č. 1 a aktuálna hodnota, ktorú vystupuje z enkódera. Pomocou dvoch hodnôt spočítame presné natočenie. V prípade, že je natočenie väčšie ako 360° , je potrebné urobiť dodatočný výpočet, aby sa rotačný motor pri inicializovaní nerotoval o viac ako je požadovaný limit ($x < 360^\circ$).
3. Pohyb na nulovú pozíciu danou rýchlosťou, zrýchlením a spomalením.
4. Pohyb na stanovenú pozíciu danou rýchlosťou, zrýchlením a spomalením, ktorá je určená pomocou algoritmu, pre obranu.

7.3.2 Logika riadenia motorov

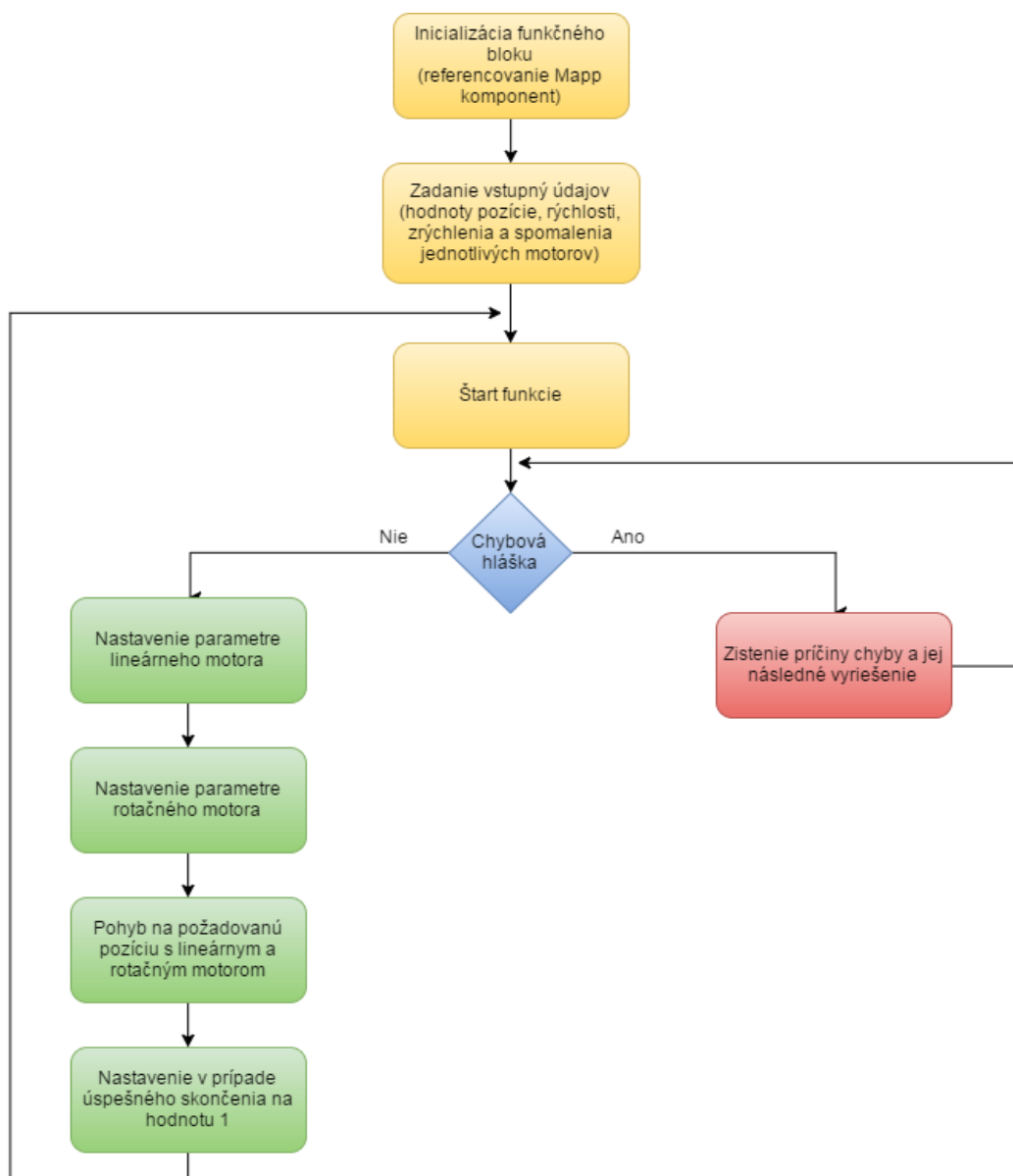
Pri riadení jednotlivých motorov (rotačných a linárnych) sa použili algoritmy, ktoré boli navrhnuté v kap. 5 – Simulácia. Algoritmy z kap. 5, ktoré boli navrhnuté vo vývojovom prostredí MATLAB, boli následne prepísané a upravené pre naše potreby do Automation Studia. Pre programovanie v Automation Studiu sme zvolili jazyk ANSI C, síce trochu nezvyčajný spôsob pre riadenie PLC, ale z nášho pohľadu sa zdal ako ten správny. ANSI C ponúka viacero možností ako ostatné jazyky dané normou IEC, pre čitateľa je lepšie pochopiteľnejší a obsahuje viacero funkcií. Jednou z najväčších výhod jazyka je práca so smerníkmi.

Po prepísaní jednotlivých algoritmov z kap. Simulácia sme vytvorili funkčný blok na riadenie motorov, ktoré sme prispôbili výstupom z funkčných blokov pre chytenie loptičky. Funkčný blok pre riadenie obsahuje spomínané Mapp komponenty, ktorými riadime pohyb motorov. Funkčný blok dokáže riešiť alarmy/chybové hlásenia autonómne pri ich detekcii, ďalej dokáže v momente novej hodnoty pozície meniť jej pohyb a rýchlosť pred dosiahnutím pozície predošlej. Jednotlivé vstupy/výstupy funkčného bloku sú zobrazené na Obr. 111. Výhoda funkčného bloku je možnosť riadenie oboch

motorov súčasne, avšak vo funkčnom bloku je aj možnosť riadenia jednotlivo. Vývojový diagram funkčného bloku môžeme vidieť na Obr. 112.

Name	Type	& Reference	Scope	Constant	Retain	Replicable
axes_control						<input checked="" type="checkbox"/>
Enable	BOOL	<input type="checkbox"/>	VAR_INPUT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
start_move	BOOL	<input type="checkbox"/>	VAR_INPUT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
linear_axis_cyclic	MpAxisCyclicSet	<input type="checkbox"/>	VAR_INPUT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
linear_axis_param	MpAxisCyclicSetParType	<input checked="" type="checkbox"/>	VAR_INPUT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
linear_param	param_ac	<input type="checkbox"/>	VAR_INPUT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
rotary_axis_cyclic	MpAxisCyclicSet	<input checked="" type="checkbox"/>	VAR_INPUT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rotary_axis_param	MpAxisCyclicSetParType	<input checked="" type="checkbox"/>	VAR_INPUT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rotary_param	param_ac	<input type="checkbox"/>	VAR_INPUT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
successfully	BOOL	<input type="checkbox"/>	VAR_OUTPUT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Internal	internal_controlAxis	<input type="checkbox"/>	VAR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

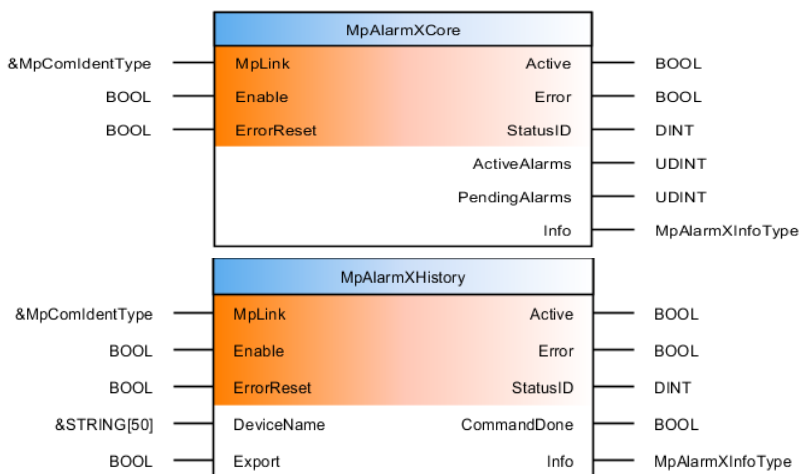
Obr. 111: Funkčný blok pre riadenie motorov



Obr. 112: Vývojový diagram riadenia funkčného bloku

7.3.3 Detekcia chybových hlásení

Detekcia chybových hlásení resp. Alarmov zahrňovala tiež jednu z použitých technológií Mapp. Konkrétne v tomto prípade to boli komponenty „MpAlarmX“, ktoré patria medzi novinky vytvorené firmou B&R. Pre použitie sme zvolili dva funkčné bloky z danej komponenty, ktoré mali názov „MpAlarmXCore“ pre detekciu a potvrdzovanie alarmov, informácia o jednotlivých alarmoch atď., „MpAlarmXHistory“ pre zistenie histórie predošlých alarmov, ktorej možnosť je aj export histórie do súboru. Použité komponenty môžeme vidieť na Obr. 113.



Obr. 113: Komponenty Mapp pre detekciu alarmov

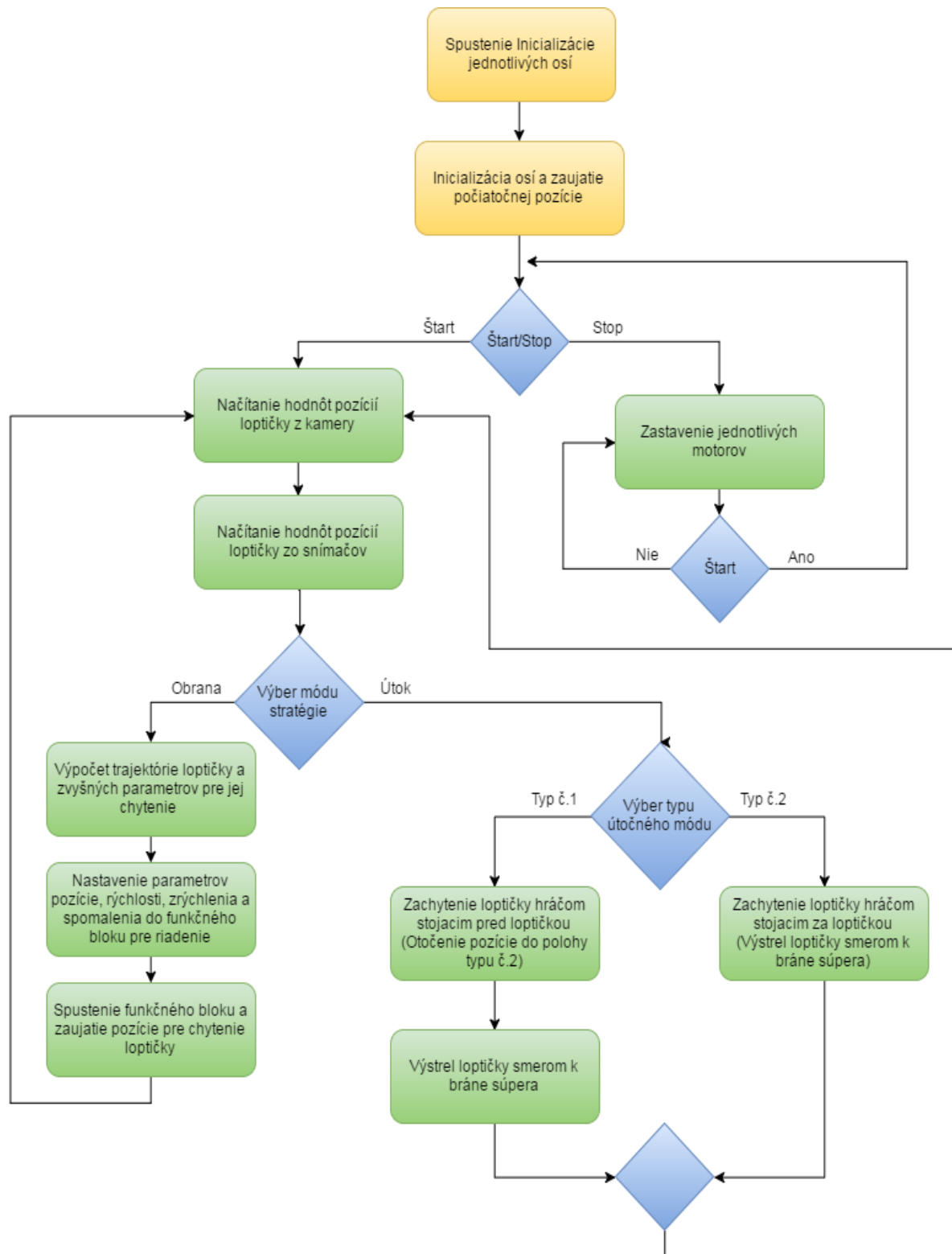
7.3.4 Funkčný blok pre informácie o hre

Veľmi dôležitou časťou bol samotný funkčný blok pre hru. Teda počítanie skóre, informácie o víťazovi, taktiež výpočet pravdepodobnosti výhry, ukazovanie mien súperov atď. ktorých výstupy sú používané hlavne pre vizualizáciu.

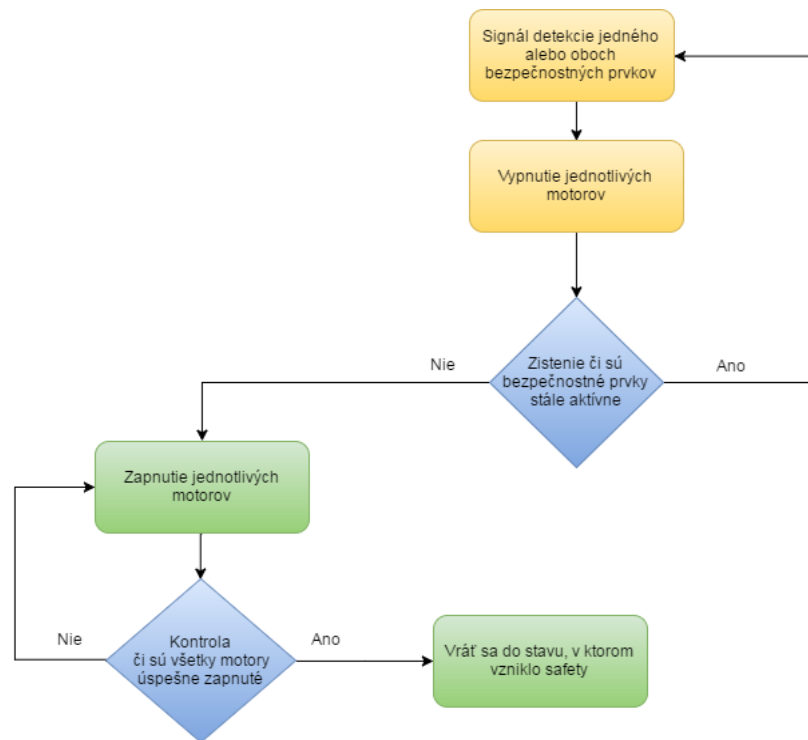
Po štarte funkčného bloku, bude z jednotlivých senzorov, ktoré sa nachádzajú v bránkach dostávať informácie o vstrelenom góle a následne pripočítavať skóre ľudskému hráčovi alebo robotovi. Počas hry prepočítava pravdepodobnosť výhry, ktorá sa mení každým ďalším vstrelením gólu. Po dosiahnutí súčtu gólov 10, ľudského hráča a robotického hráča, hra končí. Následne je možnosť vybrať ukončenie hry alebo jej reštart. Taktiež obsahuje možnosť zastavenia hry, či napríklad ukončenie hry počas zápasu. Disponuje možnosťou automatického riešenia alarmov. Po ukončení jednotlivých hier ukladá štatistiky histórie zápasov (čas, mená ľudského hráča, skóre), ktoré je možné doplniť v prípade ďalšieho rozširovania o iné hodnoty.

7.3.5 Vývojové diagramy pre riadenie

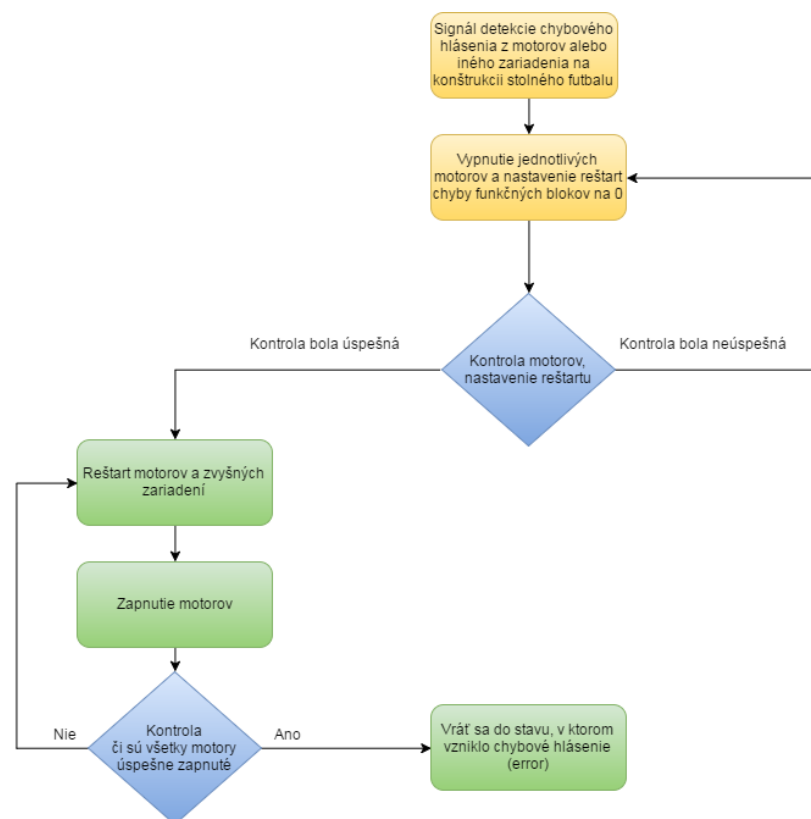
Časť vývojové diagramy pre riadenie bude obsahovať hlavný stavový automat riadenia (Obr. 114) a ďalšie dva vedľajšie, ktoré riešia bezpečnosť (safety) vid'. Obr. 115 a riešenie alarmov (chybových hlásení) vid'. Obr. 116. Kontrola vedľajších častí (error, safety) prebieha v každom stave hlavného stavového automatu.



Obr. 114: Hlavný vývojový diagram riadenia robotického stolného futbalu



Obr. 115: Vedľajší vývojový diagram pre riešenie bezpečnosti (safety)



Obr. 116: Vedľajší vývojový diagram pre detekciu chybového hlásenia (error)

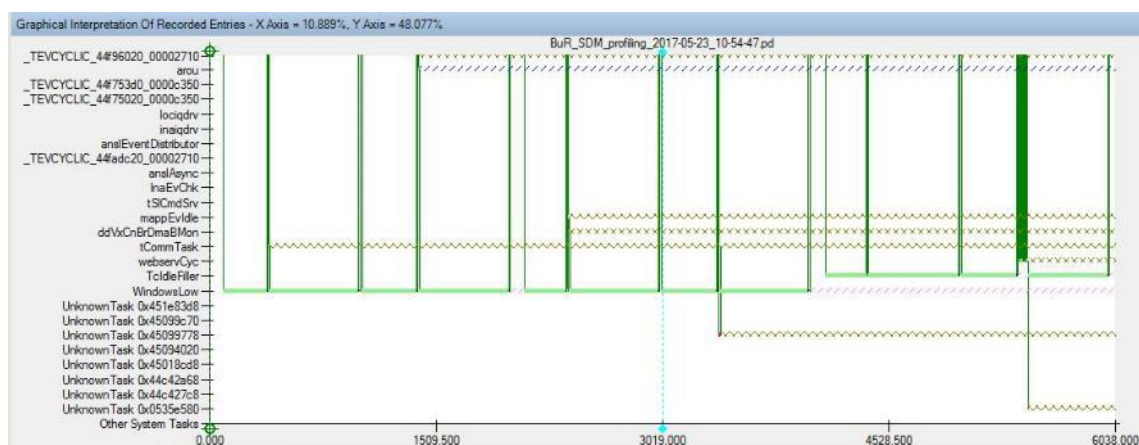
7.4 Testovanie náročnosti zat'áženia riadiaceho programu

Po navrhnutí jednotlivých algoritmov a spustení reálneho automatizovaného stroja bola testovaná náročnosť jednotlivých krokov programu, vyt'áženie procesora a čas zvolených cyklických tried. Výsledok testu môžeme vidieť v Tab. 18.

Tab. 18: Vyt'áženie procesora pri spustení hlavne programu v cyklickej triede 2000 μ s

Názov programu	Využitie procesora [%]	Minimálny čas [μ s]	Priemerný čas [μ s]	Maximálny čas [μ s]
table_football	2,608	25,368	51,528	114,948

Výsledok bol veľmi pozitívny, program sa ukázal ako efektívny a rýchly. Bolo by možné skrátiť dobu cyklu v cyklickej triede, avšak výsledky aplikácie by boli rovnaké, tým pádom veľkosť cyklickej triedy ostáva na predošlej hodnote. Grafické znázornenie náročnosti riadiaceho algoritmu pri priebehu riadenia programovej aplikácie môžeme vidieť na Obr. 117.



Obr. 117: Grafické znázornenie priebehu riadenia aplikácie

8 NÁVRH UŽÍVATEĽSKÉHO PROSTREDIA HMI

Návrh užívateľského rozhrania HMI (*Human Machine Interface*) patrí medzi najdôležitejšie časti robotického stolného futbalu. Medzi hlavnými cieľmi pri návrhu konštrukcie robotického stolného futbalu bol kladený dôraz na budúcu prezentáciu respektíve propagáciu firmy B&R Automation na rôznych veľtrhoch, firemných akciách a pod. A práve pre tento fakt musíme klásť veľký dôraz aj na užívateľské rozhranie, ktoré bude jedným z hlavných častí pri upútaní pozorovateľa.

V prvej časti návrhu HMI si predstavíme novú technológiu, ktorá bola vytvorená firmou B&R v lete roku 2016 pre tvorbu vizualizácií. Druhá časť sa bude zaoberať konfiguráciou vizualizácie v Automation studiu. Tretia časť bude venovaná návrhu dizajnu a opisu jednotlivých stránok, ktoré sú vytvorené vo vizualizácii HMI. Posledná časť sa bude zaoberať implementáciou na reálnom hardwari.

8.1 Technológia pre tvorbu vizualizácie HMI

Nová technológia pre tvorbu vizualizácie HMI, bola vytvorená v lete minulého roku a dostala názov *mappView* (Obr. 118). Pomocou technológie *mappView* ponúka spoločnosť B&R prístup k webovým technológiám, ktoré môžu byť použité vo vývoji systémov HMI pre automatizačné aplikácie. Technológia je plne integrovaná do prostredia B&R Automation studio, čo je jedna z veľkých výhod pre tvorcov aplikácií. *MappView* je prvé webové riešenie HMI na svete, ktoré nevyžaduje znalosť webových jazykov. Základná znalosť jazyka XML je postačujúca na vytvorenie jednoduchej aplikácie HMI vo webovom prostredí. Jedna z ďalších výhod danej technológie je kompatibilita s mobilným zariadením, či možnosť sledovania vizualizácie viacerými zariadeniami naraz. Avšak technológia má aj jednu malú nevýhodu, ktorá veľké zaťažovanie procesoru, čo je možné vyriešiť kvalitnejším panelom PC.

Vizualizačná aplikácia, ktorá je vytvorená v danej technológií by mala byť spúšťaná na operačnom systéme Windows, prípadne na inom operačnom systéme, ktorý podporuje spúšťanie webového prehliadača a zároveň má zmluvu s firmou B&R. [35]



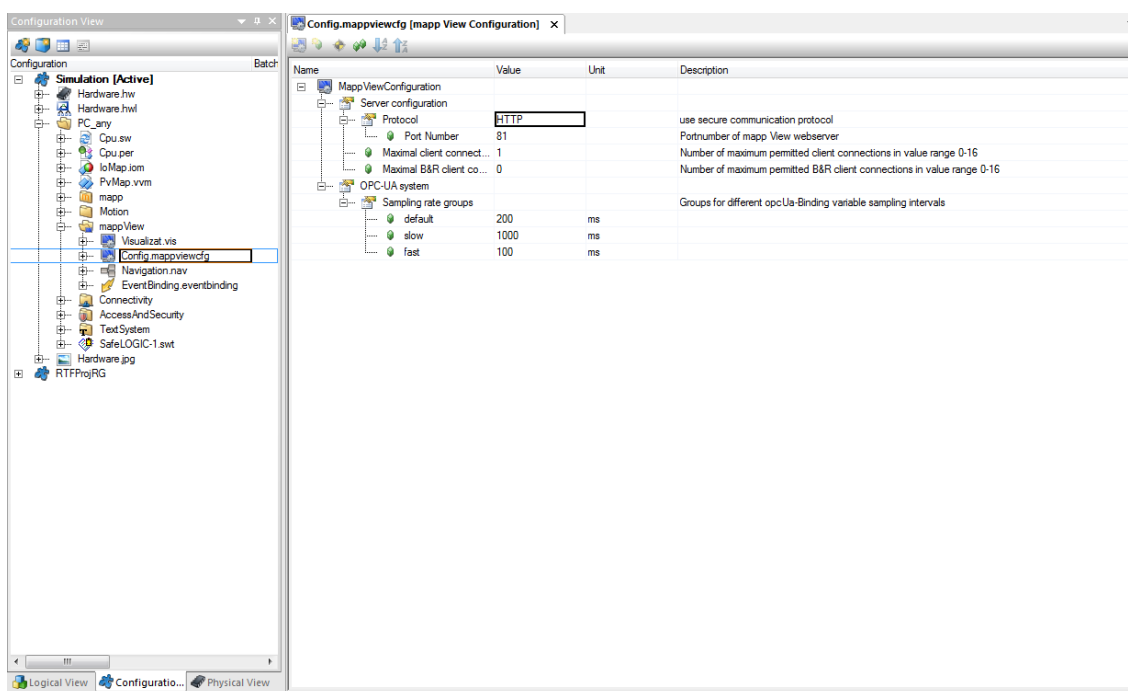
Obr. 118: Technológia *mappView* [35]

8.2 Konfigurácia vizualizácie v Automation Studio

Úvodná časť pri tvorbe vizualizácie je konfigurácia vo vývojovom prostredí Automation Studio. Konfigurácia bude prebiehať v konfiguračnej časti programu (*Configuration View* Obr. 119), kde si pridáme postupne jednotlivé komponenty, ktoré sú potrebné pre tvorbu vizualizácie. Predstavenie jednotlivých komponentov pre konfiguráciu môžeme vidieť v Tab. 19. Najdôležitejšie časti sú konfiguračná a vizualizačná, bez ktorých by vizualizácia nemohla fungovať. Ostatné časti sú taktiež dôležité, ale pre prípadné prezeranie vizualizácie nie sú nevyhnutné.

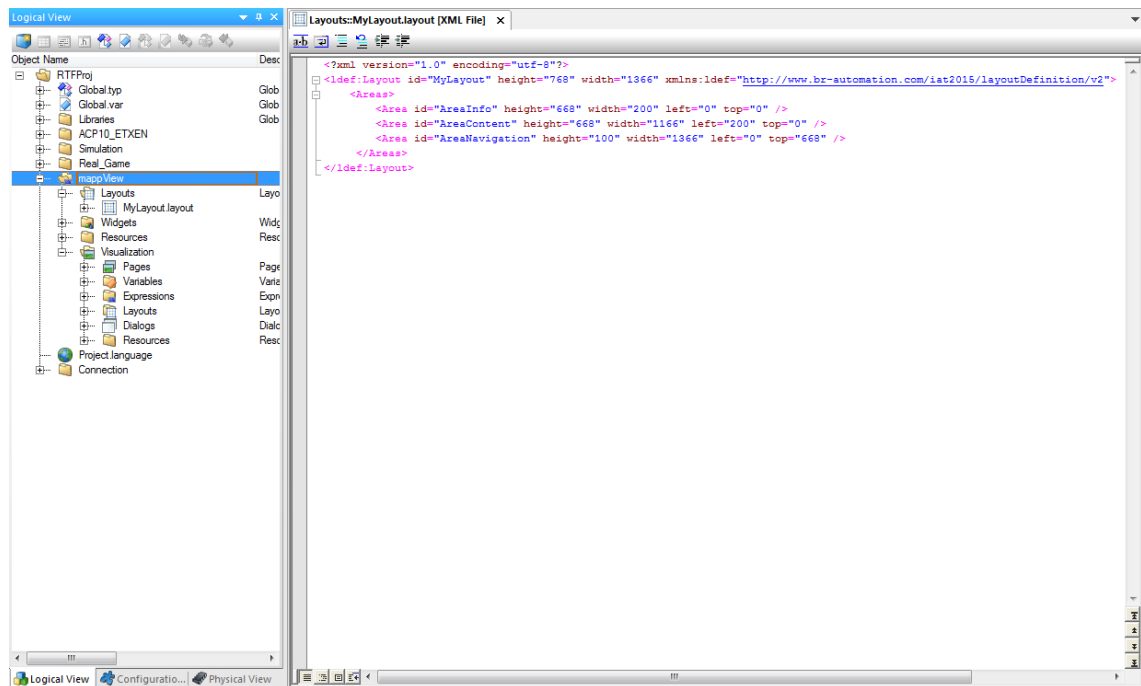
Tab. 19: MappView komponenty pri konfigurácii

Časť	Popis
Konfiguračná	Vytvorenie konfigurácie vizualizácie, nastavenie portu, počet dovolených pripojených zariadení, rýchlosť, nastavenie protokolu.
Vizualizačná	Nastavenie použitých stránok, dialógov, tém atď.
Navigačná	Použitie pri automatickej navigácii prepínania stránok, nastavovanie zobrazovania stránok.
Mapovanie premenných	Mapovanie premenných na tlačidlo, vstupný/výstupný text, číslo, pozícia v grafe atď.
Vytváranie udalostí	Spúšťanie a zatváranie dialógov, zobrazovanie/skrývanie obrázkov atď.



Obr. 119: Konfigurácia v konfiguračnej časti

V ďalšom kroku je potrebné vytvoriť komponentu `mappView` v časti Logickej (*Logical View*) vid'. Obr. 120. Logická časť bude slúžiť ďalej na vytváranie jednotlivých stránok, dialógov atď. Súčasťou konfigurácie logickej časti bude aj pridanie rôznych jazykov a komponenty pre text, pomocou ktorých vytvoríme neskôr prepínač jazyka.

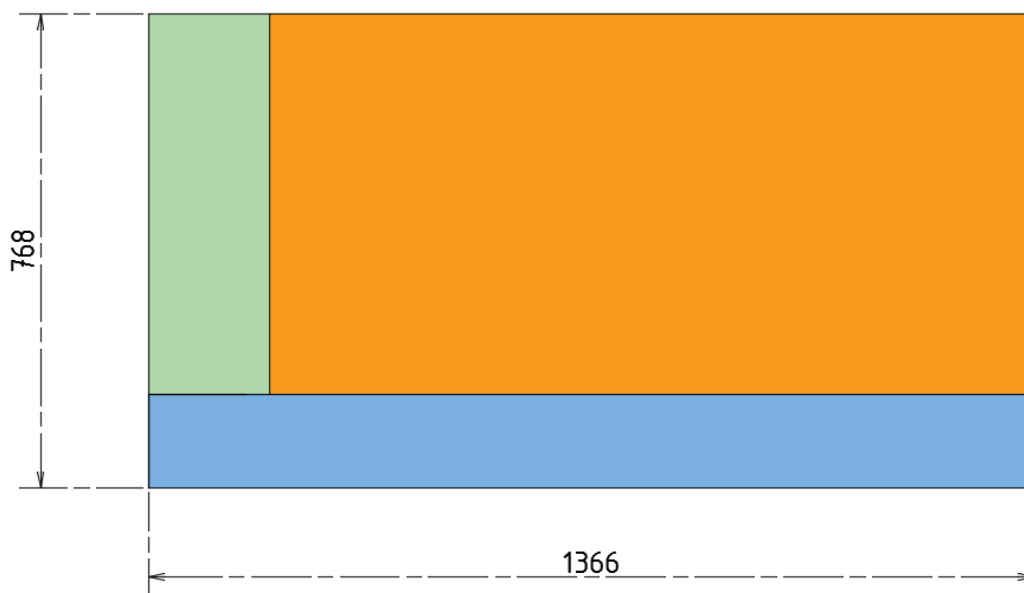


Obr. 120: Konfigurácia logickej časti

8.3 Návrh a opis jednotlivých stránek HMI

Pri návrhu vizualizácie je potrebné na začiatku tvorby zvoliť rozloženie jednotlivých častí, navrhnuť rozmer plochy pre vizualizáciu (v našom prípade sú rozmery dané veľkosťou panelu, ktorý sa bude nachádzať na reálnom hardwari stolného futbalu).

Na obrázku č. 121 môžeme vidieť navrhnuté základné rozloženie plochy pre vizualizáciu. Rozmery sú stanovené plochou riadiaceho panelu, a majú rozmer 1366 x 768 px. Plocha vizualizácia sa delí na 3 hlavné časti, kde prvá časť je navigačná, ktorá slúži na prepínanie jednotlivých stránok (bude použitá automatická navigácia vid'. Tab. 19). Druhá časť plochy je informačná, bude slúžiť na prihlasovanie a odhlasovanie užívateľa, zmenu jazyka, zobrazovanie času a dátumu, detekciu alarmov a v poslednej rade bude taktiež obsahovať tlačidlo, ktoré automaticky prepne hlavnú plochu na plochu pre futbalový zápas. Tretia časť je najdôležitejšia, ktorá slúži pre zobrazovanie jednotlivých stránok.



Obr. 121: Základné rozloženie návrhu plochy HMI vizualizácie

Pri vytvorení jednotlivých stránok sa prihliadalo na rôzne fakty, ktoré budú potreba na plynulý priebeh spúšťania a diagnostikovania robotického stolného futbalu. Ďalej sa kladol dôraz na skutočnosť, že mappView je nová technológia a daný robotický futbal bude jedna z prvých reálnych aplikácií v Českej republike, ktorá technológiu mappView bude predstavovať, tým pádom bolo podstatné využiť rôzne možnosti a ukázať, čo všetko daná technológia dokáže.

Výsledkom tvorby bolo 10 hlavných stránok, ktoré sú súčasťou automatickej navigácie. Ďalej 5 vedľajších stránok, ako sú napr. štatistiky, reálny zápas, elektrická schéma, či dokonca ako návod budúcemu užívateľovi diplomová práca. Poslednou časťou bol návrh troch dialógov – prihlasovanie, spúšťanie hry, reštart/ukončenie hry. Ukážky jednotlivých stránok, dialógov sú znázornené v Prílohe E.

Popis jednotlivých hlavných stránok vizualizácie HMI:

1. Domovská stránka

Stránka domov „*Home*“ je základnou stránkou, ktorá sa zobrazí pri spustení. Slúži pre prezentáciu spolupráce firmy, škôl, použitých technológií robotického stolného futbalu, doplnená o 3D model futbalu.

2. Stránky hry

Stránka hry „*Game*“ slúži pre inicializáciu osí stolného futbalu, zadanie mien hráčov, ktorý sa chystajú proti automatizovanému stroju súperiť a v neposlednej rade pre štatistiky dňa, informácie o jednotlivých zápasoch, ktoré je možné

zobraziť pomocou tlačidla „Up to date“, ktoré zmení hlavnú obrazovku na obrazovku s históriou zápasov. Najhlavnejšia časť stránky, je spúšťanie zápasu.

3. Kamera

Stránka kamera „Camera“ slúži pre sledovanie pozícií loptičky, jej smeru a času loptičky, ktorý je rozdielom času v k - kroku a $k - 1$. Ďalej je stránka doplnená o informáciu, v ktorej zóne hracieho poľa sa loptička nachádza. Taktiež je možnosť na danej stránke zvyšovať, či naopak znižovať intenzitu osvetlenia.

4. Systémový diagnostický manažér (SDM)

SDM „System Diagnostic Manager“ slúži ako diagnostický nástroj pre informácie o jednotlivých komponentoch, vytváraní procesoru atď.

5. Stránka grafov

Stránka grafov „Graph“ slúži pre sledovanie priebehov pozícií jednotlivých osí a motorov v grafe a v numerickom výstupe danej hodnoty.

6. Stránka monitorovania pozícií

Stránka monitorovania pozícií „Position“ slúži pre informácie o pozíciách jednotlivých motorov (lineárnych, rotačných) nachádzajúcich sa na stolnom futbale, a taktiež o polohe protihráča (ľudský hráč).

7. Monitorovanie teploty

Monitorovanie teploty „Temperature“ slúži na sledovanie teploty jednotlivých lineárnych a rotačných motorov.

8. Alarmy

Alarmy „Alarm“ slúži na detekciu alarmov, ktoré sú zobrazené v tabuľke „Alarm List“ a taktiež na históriu alarmov „Alarm History“. Pomocou stránky dokážeme potvrdzovať jednotlivé alarmy, sledovať ich čas a priebeh, či ich dôvod a dôležitosť. Taktiež môžeme históriu alarmov exportovať do súboru csv.

9. Safety (Bezpečnosť)

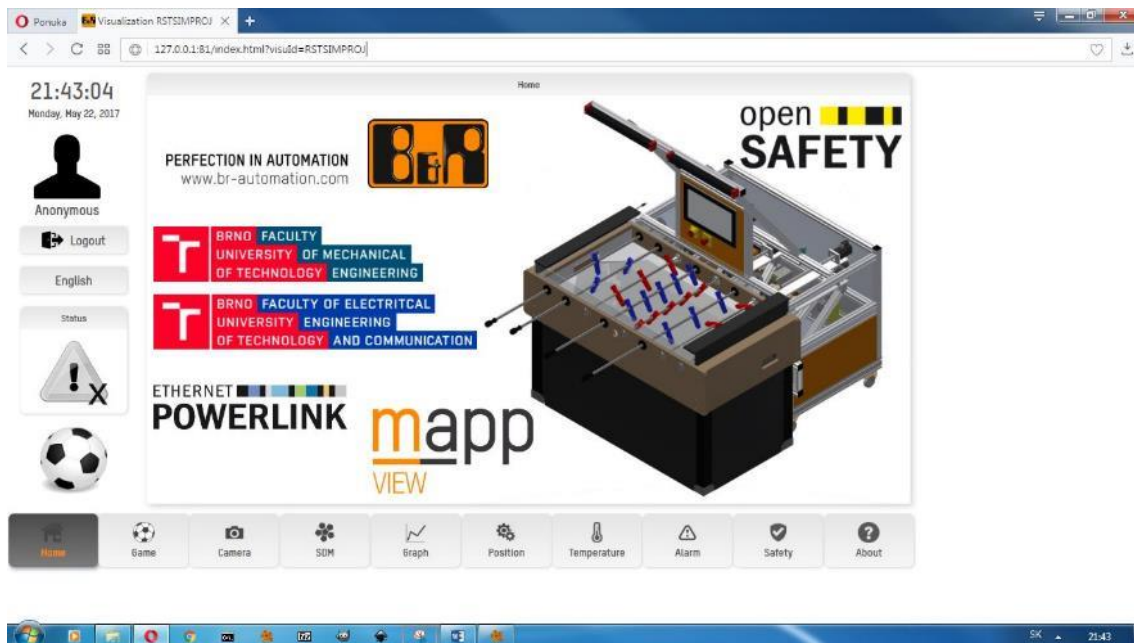
Safety (Bezpečnosť) „Safety“ slúži na detekciu bezpečnostných prvkov. V prípade, že je použitý nejaký bezpečnostný prvok, obrázok stránky sa zmení a informuje nás o jeho použití.

10. Stránka návodov

Stránka návodov „About“ slúži pre rôzne návody o motoroch, systéme X20, či iných použitých komponentoch, ktoré sú súčasťou robotického stola. Ďalej slúži pre prezeranie diplomových a bakalárskych prác. V poslednom rade pre zobrazenie elektrickej schémy. Pre jednotlivé zobrazenie stránok je potrebné stlačiť jedno z tlačidiel, pomocou ktorého nastane zmena hlavnej obrazovky.

Pre pripojenie a zobrazenie aplikácie je potrebné poznať IP adresu zariadenia, port, ktorý sa nastavil v časti konfigurácia a meno, ktoré nastavíme vo vizualizačnej časti. Ukážka na Obr. 101 je vytvorená na stolovom počítači v rámci simulačného testovania. Základné časti, ktoré si všimneme, sú IP adresa stránky a plochy vizualizácie. Vidíme, že plocha navrhutej vizualizácie je menšia ako plocha obrazovky, to sa však dá zmeniť

tým, že nastavíme v prehliadači rozťahnutie na celú plochu. Rovnako to urobíme aj na reálnom paneli, ktorý je použitý pri stolnom futbale. Obr. 122 zobrazuje hlavnú hraciu časť.



Obr. 122: Dokončená vizualizácia vo webovom prehliadači Opera



Obr. 123: Hlavná hracia časť vizualizácie pre stolný futbal

8.4 Implementácia na riadiaci panel B&R

Po nakonfigurovaní a vytvorení vizualizácie HMI sme vizualizáciu následne otestovali na simulácii, test prebehol úspešne a tým pádom môžeme implementovať riešenie na riadiaci panel B&R, ktorý obsahuje operačný systém Windows 7. Pre spustenie

vizualizácie nie je potreba pripojenie k internetu, vzhľadom na to, že vizualizácia je spustené ako serverová aplikácia riadená pomocou PLC. Ukážku aplikácie implementovanú na riadiaci panel môžeme vidieť na Obr. 124.



Obr. 124: Implementácia HMI na riadiaci panel B&R

9 ZÁVER

V rámci diplomovej práce bola navrhnutá úprava robotického stolného futbalu, ktorá bola rozšírená o dve ďalšie nepovinné časti. Prvá nepovinná časť bola zameraná na návrh a implementáciu bezpečnostných prvkov, druhá na vytvorenie užívateľského rozhrania.

Prvým krokom pri vytvorení úprav robotického stolného futbalu bolo otestovanie predošlého riešenia (kap. 4). V testovaní predošlého riešenia sa zistilo viacero rôznych nedostatkov, ako napr. vypadávanie pera pri rotačnom pohybe, či dokonca oddeľovanie jednotlivých častí konštrukcie. Nedostatky riešenia boli upravené a nový návrh bol skonštruovaný v spolupráci s firmou SEKO-K, s.r.o na základe predložených návrhov. Ďalším krokom bol výber správnych komponentov chýbajúcich na stolnom futbale, ktoré boli následne firmu B+R Automatizace, s.r.o objednané. Po doručení zvyšných komponentov pre riadenie bolo navrhnuté a zrealizované elektrické zapojenie. Jednotlivé úpravy, elektrické zapojenie, zvyšné riadiace komponenty automatizovaného stolného futbalu sú znázornené v kap. 3, prípadne v Prílohe A – Výkresová dokumentácia, kde sú výkresy úprav jednotlivých osí a elektrické zapojenie celého zariadenia. Jednotlivé výkresy boli vytvorené v programe AutoCAD 2018. Pri úpravách konštrukcie zvyšných osí došlo k poškodeniu magnetických tyčí, čo zapríčinila aj veľká mäkkosť príslušného magnetického materiálu. Následne prebehli rôzne ďalšie úpravy, ktoré však aj napriek zlepšovaniu riešenia nedokázali riešenie upraviť v požadovanom čase do stavu, v ktorom by nám vyhovovalo. Po konzultácii a prezretí momentálneho stavu sa výsledky javia veľmi pozitívne, a je možné, že v najbližších týždňoch by malo byť riešenie hotové. Fotografia riešenia sú dostupné v Prílohe B – Fotografie konštrukčných prvkov.

Druhý krok je vytvorenie softwarového riešenia, ktoré bolo najskôr testované na simulácii vo vývojovom prostredí MATLAB (kap. 5). Pri simulácii sa predpokladali ako vstupy do riadiacej aplikácie pozície loptičky, detegované pomocou kamery, taktiež čas medzi jednotlivými pozíciami. Ďalšie vstupy predstavovali polohy súpera detegované pomocou snímačov, ako sú napr. vzdialenosť jednotlivých výtlakov osí, poloha otočenia. Na simulácii boli navrhnuté rôzne stratégie (defenzívne, ofenzívne), pre všetky osi robotického stolného futbalu. Ich výstupom boli pozície jednotlivých osí, ich rýchlosti a zrýchlenia, ktoré boli prepočítavané pomocou vzorcov, ktoré sú znázornené v danej kapitole. Navrhnutá simulácia bola ošetrovaná rôznymi nedostatkami, ktoré môžu vzniknúť zlou detekciou zo spomínaných zariadení a následne otestovaná na vytvorenej aplikácii, ktorá môže slúžiť taktiež k ďalšiemu rozvoju stolného futbalu.

Jedna z najdôležitejších častí stolného futbalu, avšak jedna z nepovinných častí mojej diplomovej práce bol návrh bezpečnostných prvkov, výber vhodného modulu pre bezpečnosť PLC a následné elektrické zapojenie na reálny stroj (kap. 6). Po zapojení prvkov bol navrhnutý riadiaci program v nástroji SafeDESIGNER, ktorý je nadstavbou hlavné vývojového programu Automation Studio od firmy B+R. Riadiaci program bol testovaný v spoločnosti certifikovaných inžinierov firmy B+R a špecialistov na tematiku bezpečnosť (safety). Testovanie prebehlo úspešne a aj po dlhšom čase aplikácia nejavila žiadne nedostatky.

Ďalším krokom bola implementácia vytvorených stratégií z kap. 5 do riadiaceho PLC, ktorá bola vytvorená vo vývojovom prostredí Automation Studio (kap. 7). Pre vytváranie aplikácie sa zvolil jazyk ANSI C, vzhľadom na jeho obsiahlosť rôznych funkcií, či napr. ľahšiu čitateľnosť pre pozorovateľa. V kap. 7 je konfigurácia zariadenia, návrh a konfigurácia herných osí pre všetky osi stolného futbalu. Po konfigurácií a nastaveniach prebehla inicializácia herných osí (lineárnych, rotačných). Ďalším krokom kap. 7 bol návrh funkčných blokov pre riadenie, riešenie chýb, hru atď. V ďalšom kroku kapitoly je znázornený hlavný stavový automat pre riadenie celého stolného futbalu. V prílohe C – Namerané priebehy pozícií, rýchlostí atď. jednotlivých motorov si môžeme všimnúť priebehy zmieňovaných pozorovaní. Je treba podotknúť, že celá aplikácia je riadená a vytváraná pomocou poľa prvkov, pri ktorom v prípade doplnenia o zvyšné osi stačí zmeniť na začiatku programu hodnotu indexu na počet osí, ktoré sa budú na stolnom futbale nachádzať a program bude plne funkčný. Koniec kap. 7 bol venovaný testovaniu náročnosti aplikácie. V Prílohe D – Strom prvkov vytvorených v AS (Automation Studio) si môžeme všimnúť jednotlivé konfigurácie, prípadne v Prílohe F stiahnuť samotný program riadiacej aplikácie v AS alebo v MATLABE.

V poslednom kroku bola diplomová práca zameraná na návrh užívateľského rozhrania HMI, ktoré bolo vytvorené v novej technológii (kap. 8). Vytvorenie užívateľského rozhrania je tiež jedna z nepovinných častí diplomovej práce, podobne ako návrh bezpečnosti (safety), avšak patrí medzi veľmi dôležité keďže robotický stolný futbal sa bude využívať na reprezentatívne účely. Navrhnuté užívateľské rozhranie bolo implementované a otestované na riadiacom paneli. Užívateľské rozhranie budí veľmi príjemný dojem, ktorý by mal upútať prípadného pozorovateľa. V Prílohe E – Stránky HMI vizualizácie si môžete všimnúť jednotlivé navrhnuté stránky.

10 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] JANSSEN,R., Best,J.D., MOLENGRAF,R.V.D.,STEIBUCH,M. *The Design of a Semi-Automated Football Table*. [PDF dokument]. Eindhoven University of Technology, Department of Mechanical Engineering, 2011 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <<http://www.mate.tue.nl/mate/pdfs/12113.pdf>>
- [2] JANSSEN,R., Best,J.D., MOLENGRAF,R.V.D.,STEIBUCH,M *Real-Time Ball Tracking In A Semi-Automated Foosball Table*. [PDF dokument]. Eindhoven University of Technology, Department of Mechanical Engineering, 2011 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <<https://ai2-s2-pdfs.s3.amazonaws.com/b714/597ded1f03fa5934035d23305c93fb357ac5.pdf>>
- [3] MYSLIVEC, Vojtěch. *Robotický stolní fotbal*. Praha, 2015. 46 s. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Elektrotechnická fakulta, Katedra řídicí techniky. Elektrotechnické fakultě ČVUT v Praze na Katedře Řídicí techniky. Vedúci diplomovej práce Ing. Pavel Burget, Ph.D.
- [4] Pilz Belgium. *Pilz Robo Kicker – Man vs. Machine*. [video]. Pilz Belgium s.r.o [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <<https://www.youtube.com/watch?v=GjHuUx3JNm0>>
- [5] LEE, D.J.in cooperation with the students. *A.I. Foosball: Humans vs. Robots* [video] Birmingham Young University, Computer engineering, Birmingham, 2016 [cit. 2017-04-23] Dostupné z: <<https://www.youtube.com/watch?v=VVimaZmNZZg>>
- [6] CROSBIE, J. *Watch BYU Students Lose to Their Own Foosball-Playing A.I. Robot* [článok] Jack, Inverse's Associate News Editor, is based in Brooklyn, 2016 [cit. 2017-04-23] Dostupné z: <<https://www.inverse.com/article/14800-watch-byu-students-lose-to-their-own-foosball-playing-a-i-robot>>
- [7] CROFTS, N. *BYU students create foosball table with artificial intelligence* [článok] KSL Broadcasting Salt Lake City 2016 [cit.2017-04-23] Dostupné z: <<http://www.ksl.com/?sid=39529428&nid=1012&title=byu-students-create-foosball-table-with-artificial-intelligence>>
- [8] RIDDEN, P. *It's only a game: Robots defeat humans on foosball playing field* [článok] Newatlas.com, Oklahoma City, United States of america, 2016 [cit. 2017-04-23] Dostupné z:< <http://newatlas.com/epfl-robot-table-soccer-foosball/44863/> >
- [9] PESSINA, L.A. *All brawn, little brains: EPFL students' table-football robot* [článok] École polytechnique fédérale de Lausanne, Switzerland, 2016 [cit. 2017-04-23] Dostupné z: <<https://actu.epfl.ch/news/all-brawn-little-brains-epfl-students-table-footba/>>
- [10] B&R. *B&R Perfection in Automation* [online]. 2017, [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <<http://www.br-automation.com/en/perfection-in-automation/>>
- [11] Automa: *Společnost ABB koupila firmu B&R* [článok]. Automa.cz, 2017, [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/10141.pdf>
- [12] ZEŽULKA,F.,HYNČICA,O. *Průmyslový Ethernet VIII: Ethernet Powerlink, Profinet* [článok]. UAMT FEKT VUT v Brně, 2008, [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37288.pdf>>
- [13] Automa: *Ethernet Powerlink – komunikace v reálném čase* [článok]. Automa.cz, 2001, [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <<http://automa.cz/>>
- [14] Ethernet-Powerlink[obrázok]. Ethernet-Powerlink.net, 2017,[cit. 2017-05-06]. Dostupné z:<http://www.ethernetworkpowerlink.net/uploads/pics/BuR_fiber_optic__expansion__module_300.jpg>
- [15] Automa: *Systém X20 s rozhraním Ethernet Powerlink* [článok]. Automa.cz, 2006, [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <<http://automa.cz/>>

- [16] Bilek, K. *Systém X20 – v inovacích je konjunktura stále* [článek]. Automa.cz, 2005, [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://automa.cz/cz/casopis-clanky/system-x20-v-inovacich-je-konjunktura-stale-2005_02_30320_2176/>
- [17] Automa: *ACOPOS – snadné řešení složitých aplikací* [článek]. Automa.cz, 2000, [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <<http://automa.cz/>>
- [18] B&R. *ACOPOSMicro* [online]. 2017, [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <<http://www.br-automation.com/en/perfection-in-automation/>>
- [19] B+R automatizace, spol. s r.o. *Panel PC, vizualizácia alebo riadenie?* [článek]. Atpjournal.sk, 2011, [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.atpjournal.sk/buxus/docs/atp_12_2011_24.pdf>
- [20] B&R. *Industrial PCs* [online]. 2017, [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <<http://www.br-automation.com/en/perfection-in-automation/>>
- [21] B&R. *Automation Studio 4 - Software* [online]. 2017, [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <<http://www.br-automation.com/en/perfection-in-automation/>>
- [22] B&R. *openSAFETY* [online]. 2017, [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <<http://www.br-automation.com/en/perfection-in-automation/>>
- [23] MAREČEK, P. *Robotický stolní fotbal*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 74 s. Vedoucí diplomové práce Ing. et Ing. Stanislav Lang.
- [24] JEDINÝ, L. *Robotický stolní fotbal*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 88 s. Vedoucí diplomové práce Ing. et Ing. Stanislav Lang.
- [25] Eplise. *AC/DC Power Supply* [online]. Eplise.eu, 2017, [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.elipse.eu/sites/default/files/productdownloads/datasheet_sph500.pdf>
- [26] B&R. *Power Supply - OPS1100.1* [online]. 2017, [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <<http://www.br-automation.com/en/perfection-in-automation/>>
- [27] B&R. *ACOPOSMicro* [online]. 2017, [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <<http://www.br-automation.com/en/perfection-in-automation/>>
- [28] B&R. *System X20* [online]. 2017, [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <<http://www.br-automation.com/en/perfection-in-automation/>>
- [29] B&R. *Automation Panel multi-touch* [online]. 2017, [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <<http://www.br-automation.com/en/perfection-in-automation/>>
- [30] B&R. *Panel PC 2100 multi-touch* [online]. 2017, [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <<http://www.br-automation.com/en/perfection-in-automation/>>
- [31] BUBENÍK, L. *Model robotického stolního fotbalu*. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav Automatizační a měřicí techniky.
- [32] OTRADOVSKÝ, R. *Robotický stolní fotbal - Detekce polohy protihráče*. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky.
- [33] NECID, J. *Bezpečnost strojů a opatření ke snížení rizik*. Praha, 2011, 89 s. [PDF dokument]. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická. [cit. 2017-05-20]. <https://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/images/6/6f/Dp_2011_necid_josef.pdf>

- [34] B&R. *SafeDESIGNER* [online]. 2017, [cit. 2017-05-20]. Dostupné z:
<<http://www.br-automation.com/en/perfection-in-automation/>>
- [35] B&R. *MappView* [online]. 2017, [cit. 2017-05-21]. Dostupné z:
<<http://www.br-automation.com/en/perfection-in-automation/>>

11 ZOZNAM PRÍLOH

- PRILOHA A. Výkresová dokumentácia
- PRILOHA B. Fotografie konštrukčných prvkov
- PRILOHA C. Namerané priebehy pozícií, rýchlostí atď. Jednotlivých motorov
- PRILOHA D. Strom prvkov vytvorených v AS
- PRILOHA E. Stránky HMI vizualizácie
- PRILOHA F. CD – ROM

A. VÝKRESOVÁ DOKUMENTÁCIA

Tab. 1: Výkresová dokumentácia

Číslo výkresu	Označenie	Názov	Popis
1	1-DS-1	UPRAVA_OSI_OBRANCA	Výkres úprav a návrhu osi
2	1-DS-2	UPRAVA_OSI_ZALOZNIK	Výkres úprav a návrhu osi
3	1-DS-3	UPRAVA_OSI_UTOCHNIK	Výkres úprav a návrhu osi
4	2-DS-1	ELEKTRICKA_SCHEMA	Elektrická schéma zapojenia robotického stolného futbalu

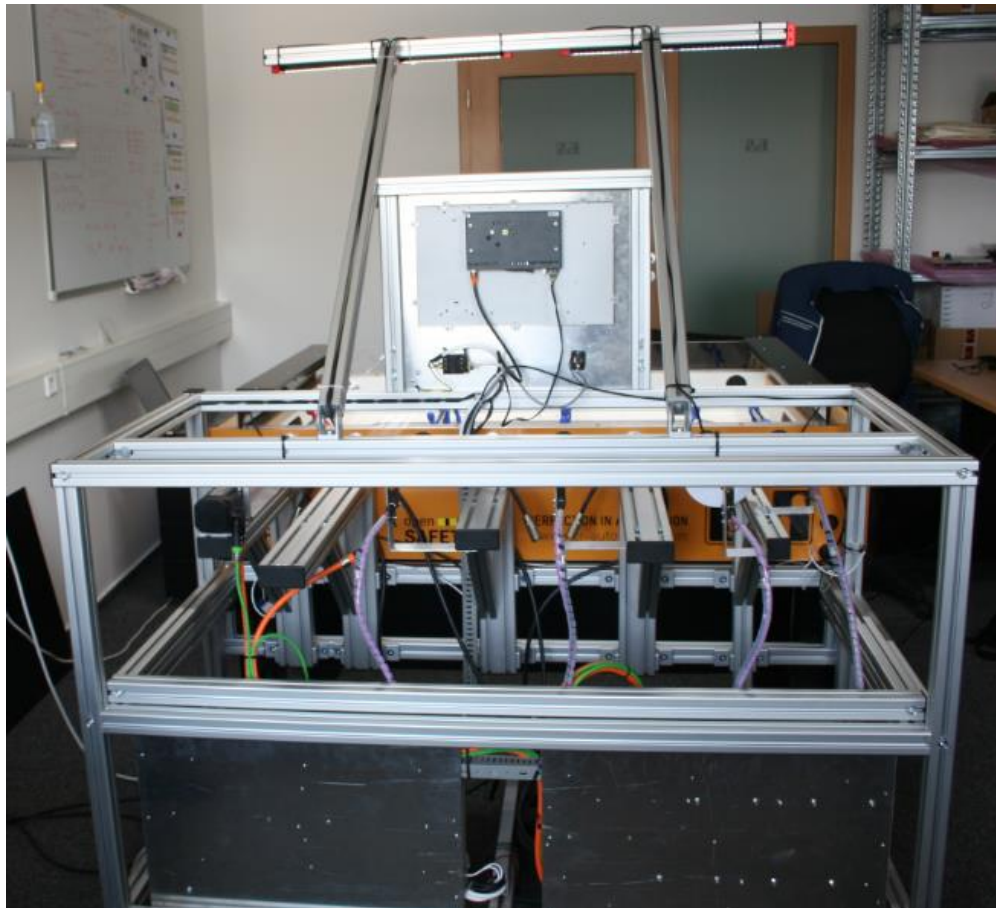
B. FOTOGRAFIE KONŠTRUKČNÝCH PRVKOV



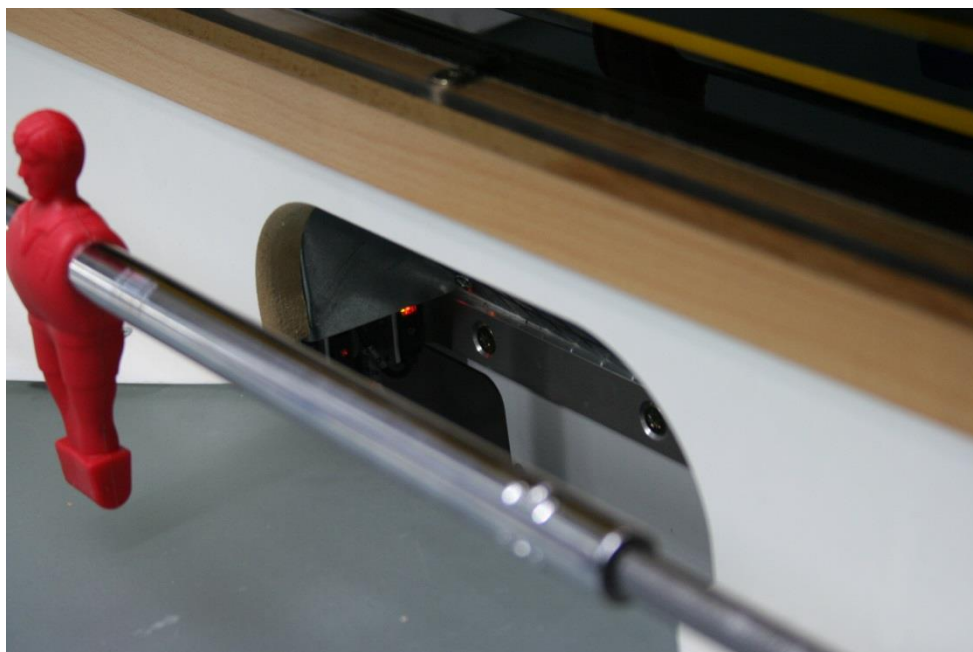
Obr. 1: Kompletná konštrukcia robotického stolného futbalu



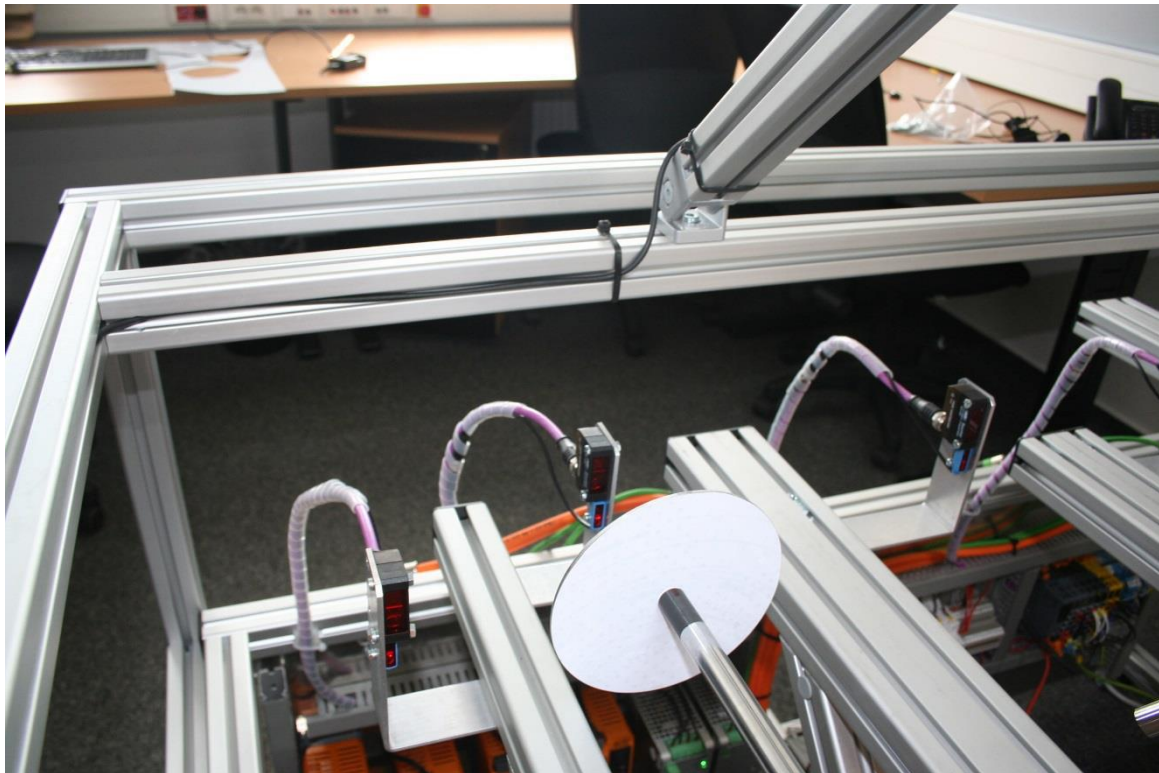
Obr. 2: Predná časť konštrukcie spolu so zapnutou vizualizáciou



Obr. 3: Zadná časť konštrukcie



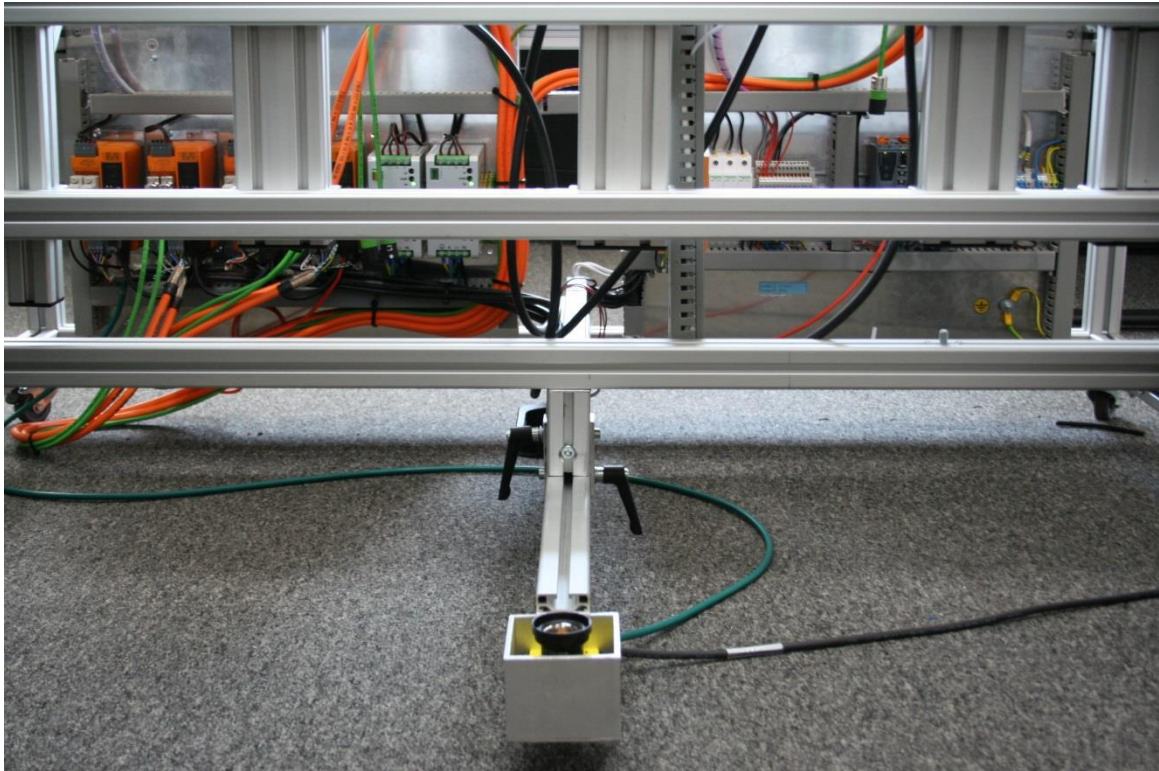
Obr. 4: Snímač pre detekciu vstreleného gólu nachádzajúci sa v bránke



Obr. 5: Snímače a konstrukčné riešenie pre detekciu polohy protihráča



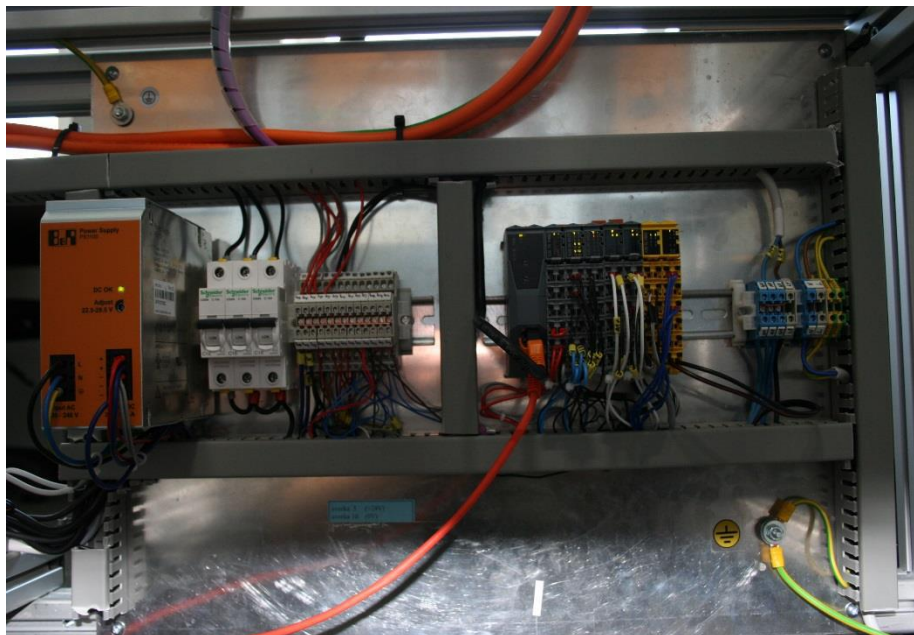
Obr. 6: Riadiaci panel s vizualizáciou



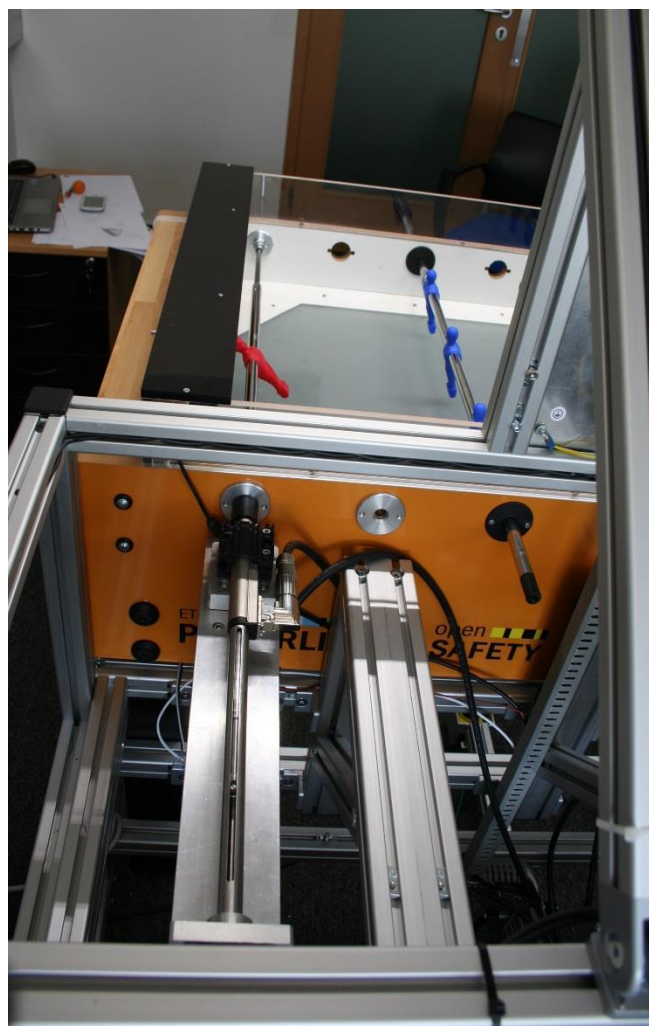
Obr. 7: Uloženie kamery pre detekciu polohy loptičky



Obr. 8: Zapojenie servozosilovačov a zdrojov pre napájanie 80 V

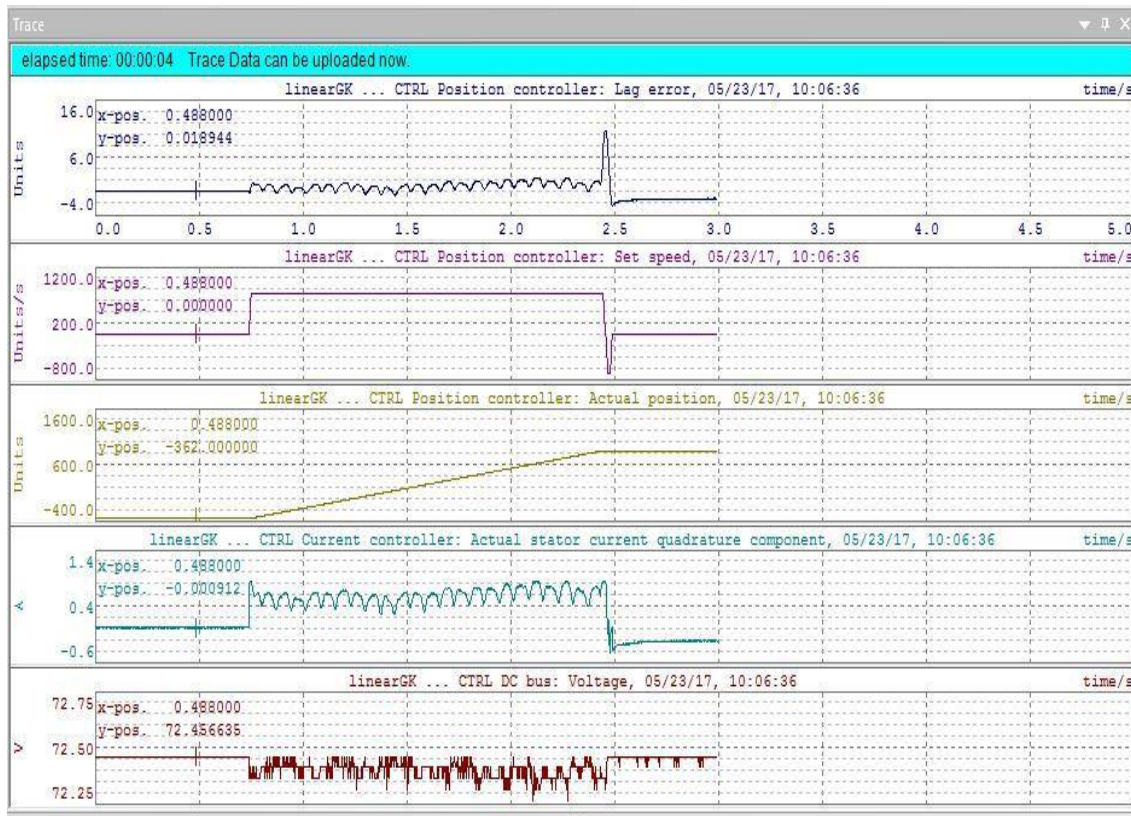


Obr. 9: Zapojenie systému X20 a zdroju pre napájanie 24 V

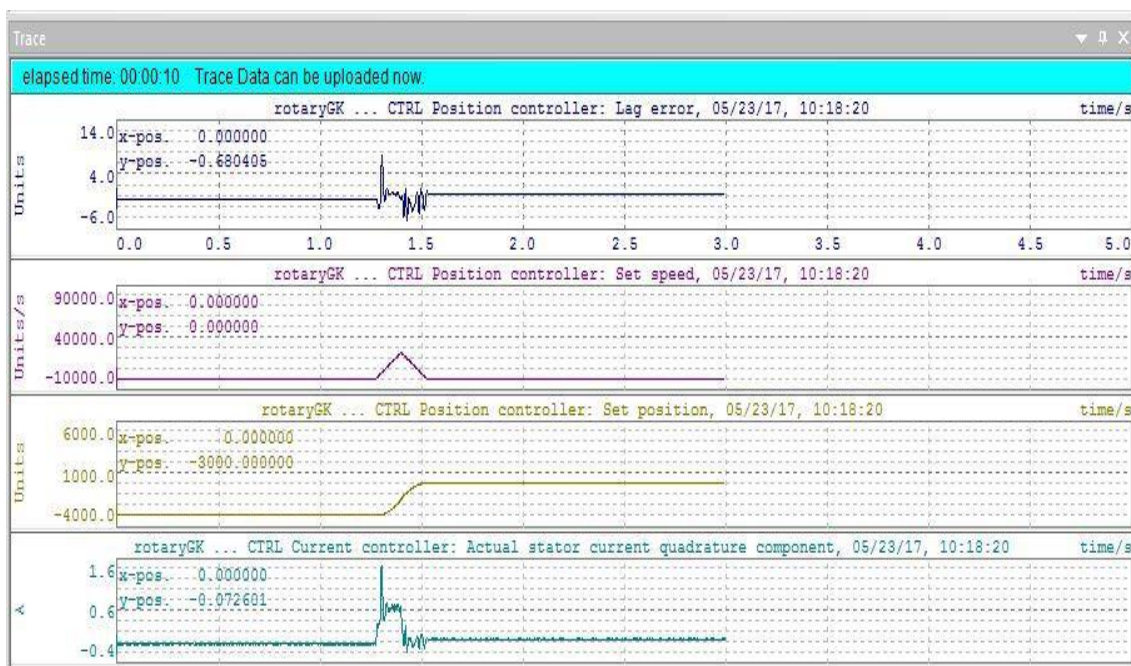


Obr. 10: Uloženie osi pre riadenie

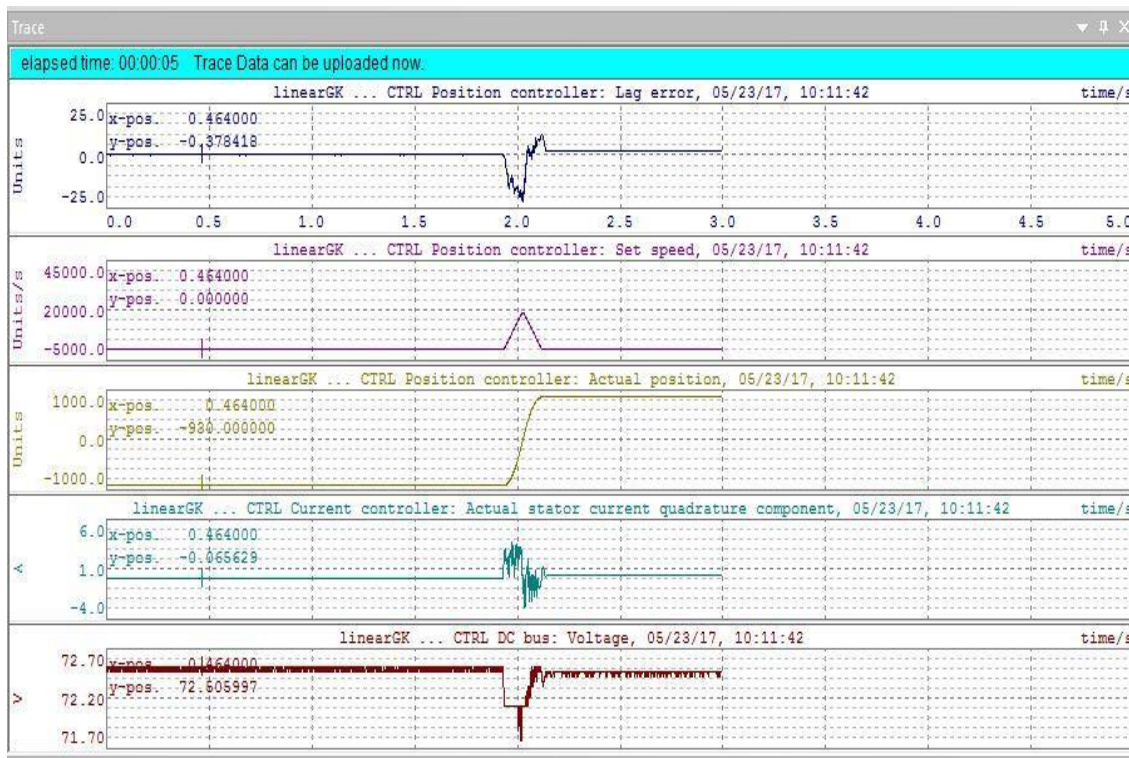
C. NAMERANÉ PRIEBEHY POZÍCIÍ, RÝCHLOSTÍ ATĎ. JEDNOTLIVÝCH MOTOROV



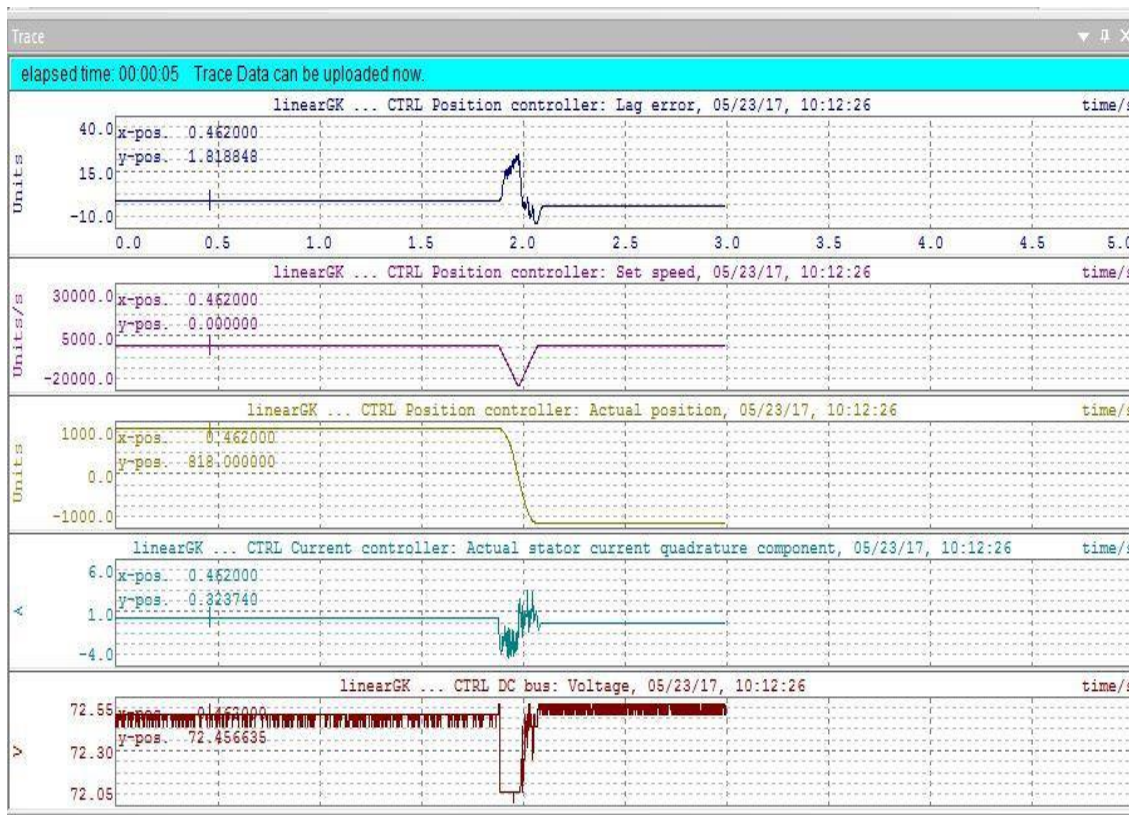
Obr. 1: Inicializácia lineárneho motoru



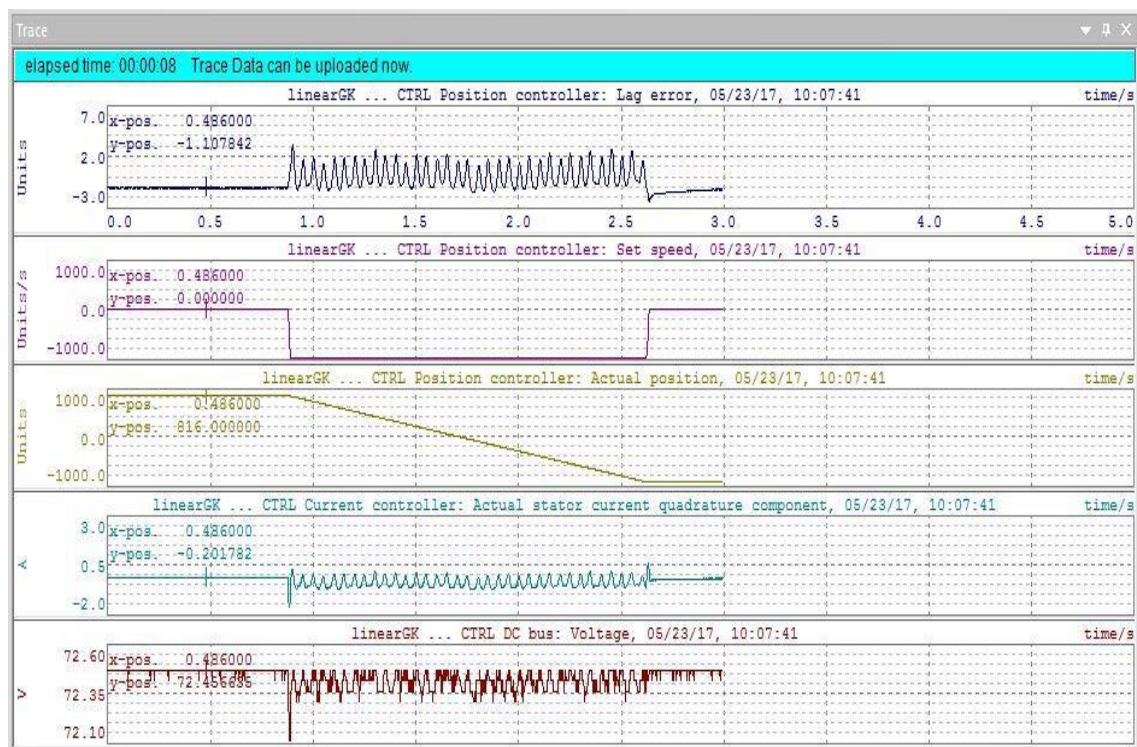
Obr. 2: Inicializácia rotačného motoru



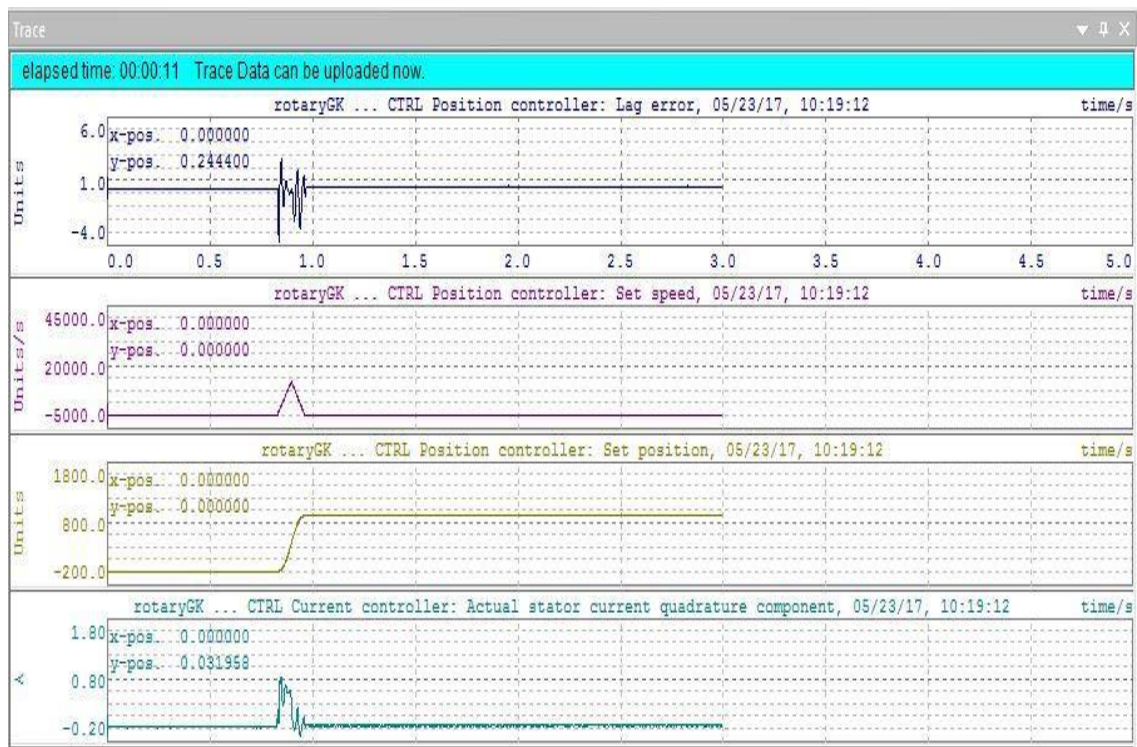
Obr. 3: Lineárny motor – pohyb maximálnou rýchlosťou na max. koncový bod



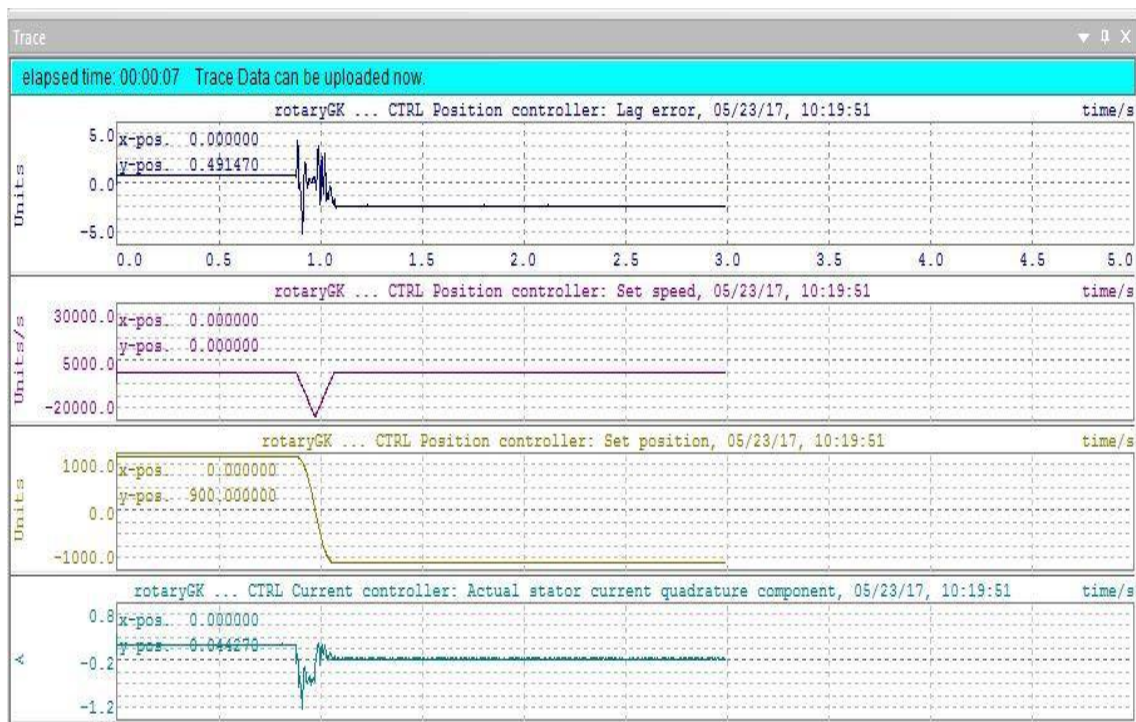
Obr. 4: Lineárny motor – pohyb maximálnou rýchlosťou na min. koncový bod



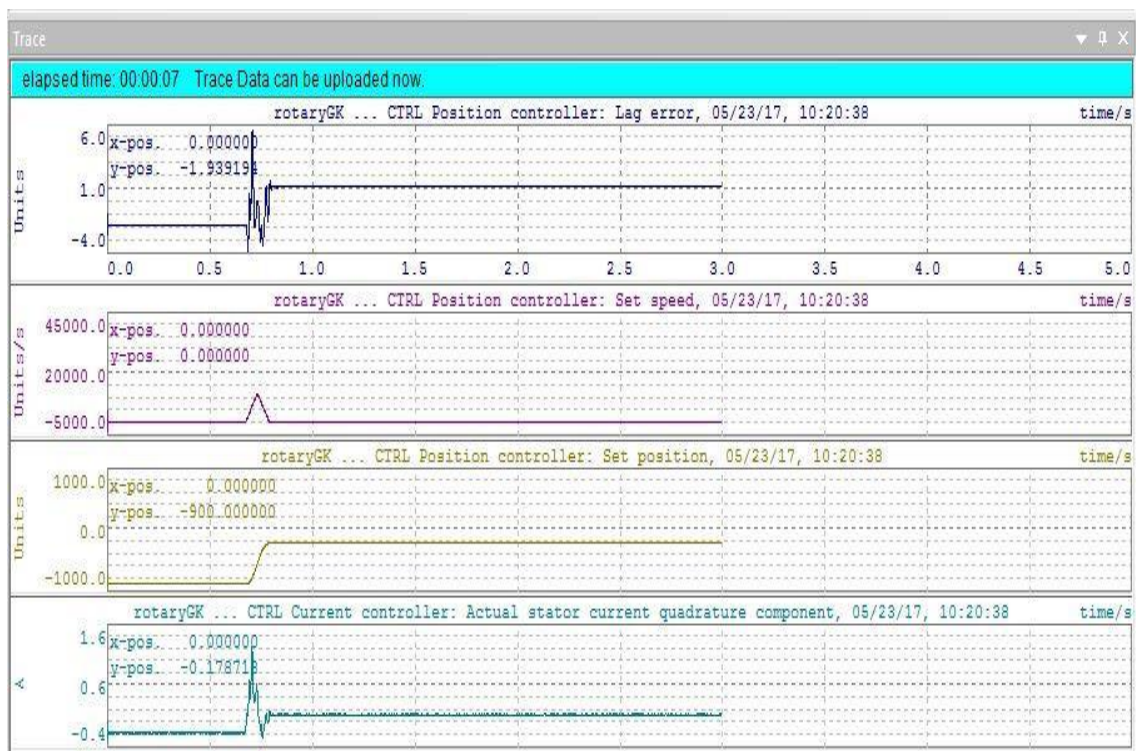
Obr. 5: Lineárny motor – pohyb zvolenou rýchlosťou z maximálnej možnej pozície na minimálnu



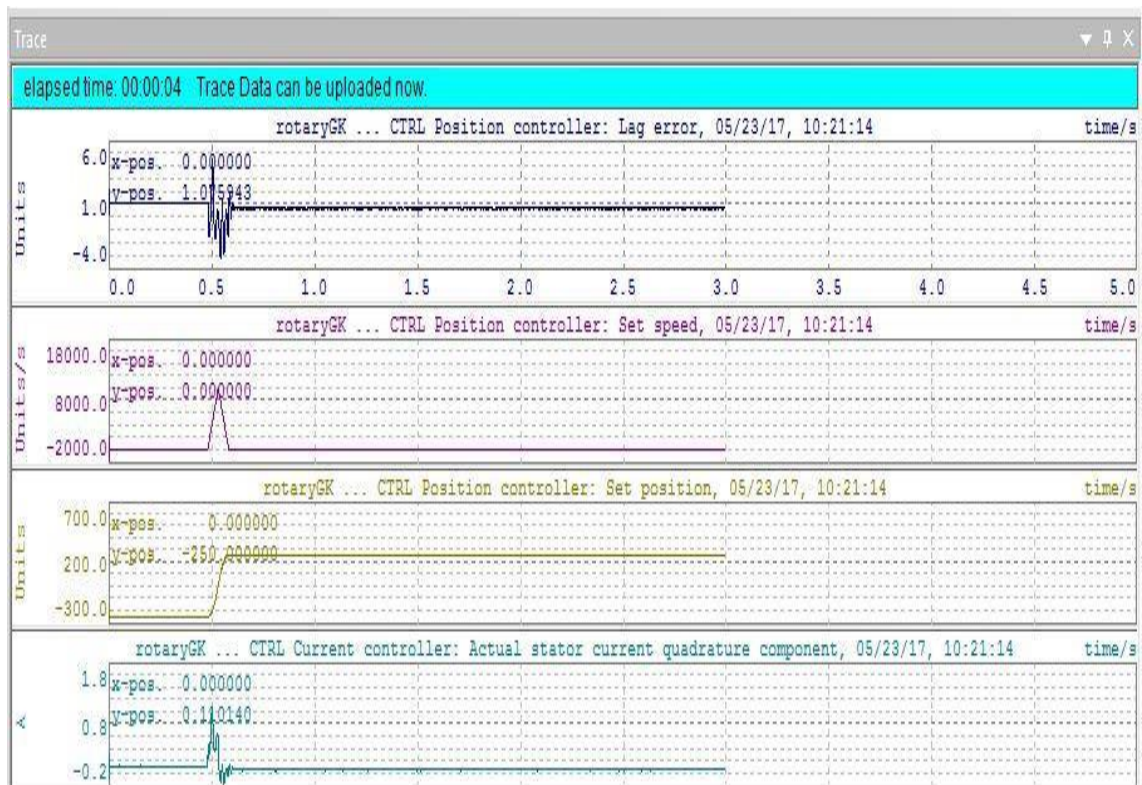
Obr. 6: Rotačný motor – pohyb zvolenou rýchlosťou na max. koncový bod



Obr. 7: Rotačný motor – pohyb zvolenou rýchlosťou na min. koncový bod

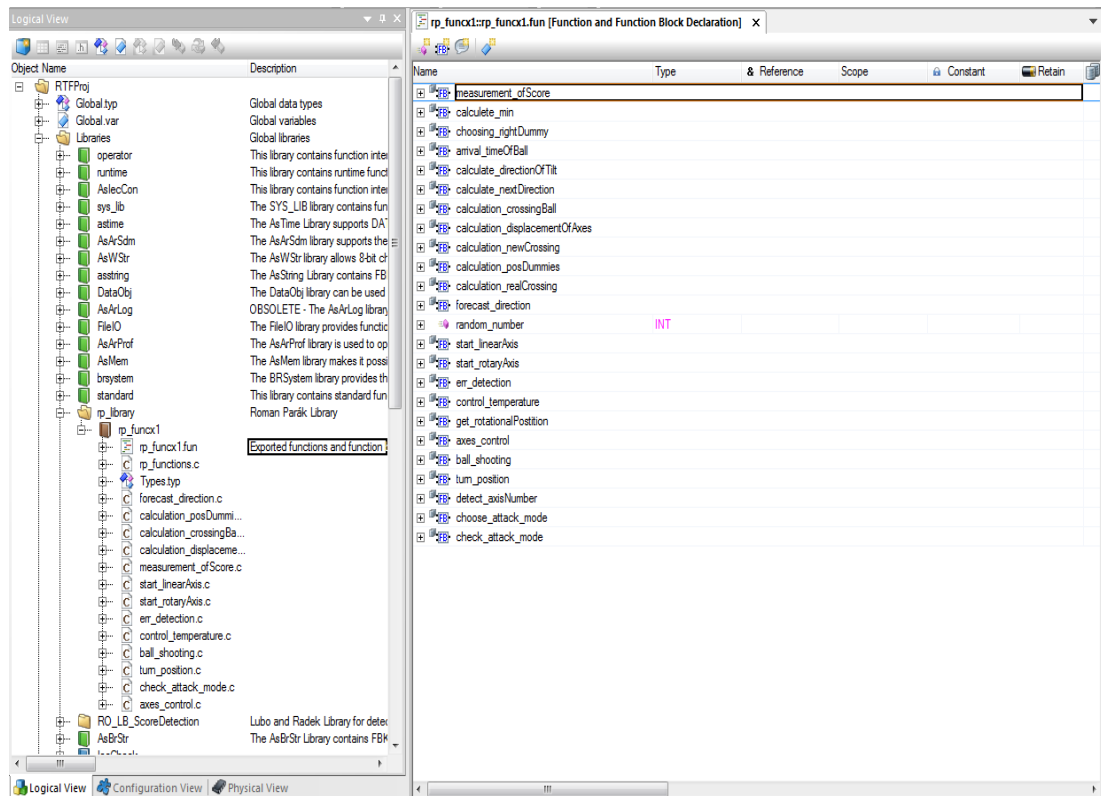


Obr. 8: Rotačný motor – pohyb do pozície pre obranu TYP 2 vid' kap. Simulácia max. rýchlosťou

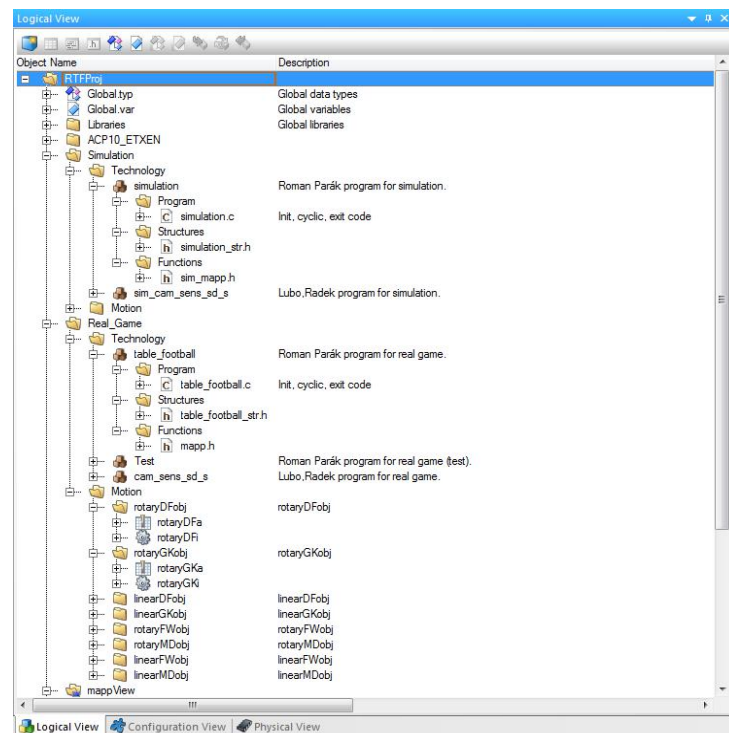


Obr. 9: Rotačný motor – pohyb do pozície pre obranu TYP 1 vid' kap. Simulácia max. rýchlosťou

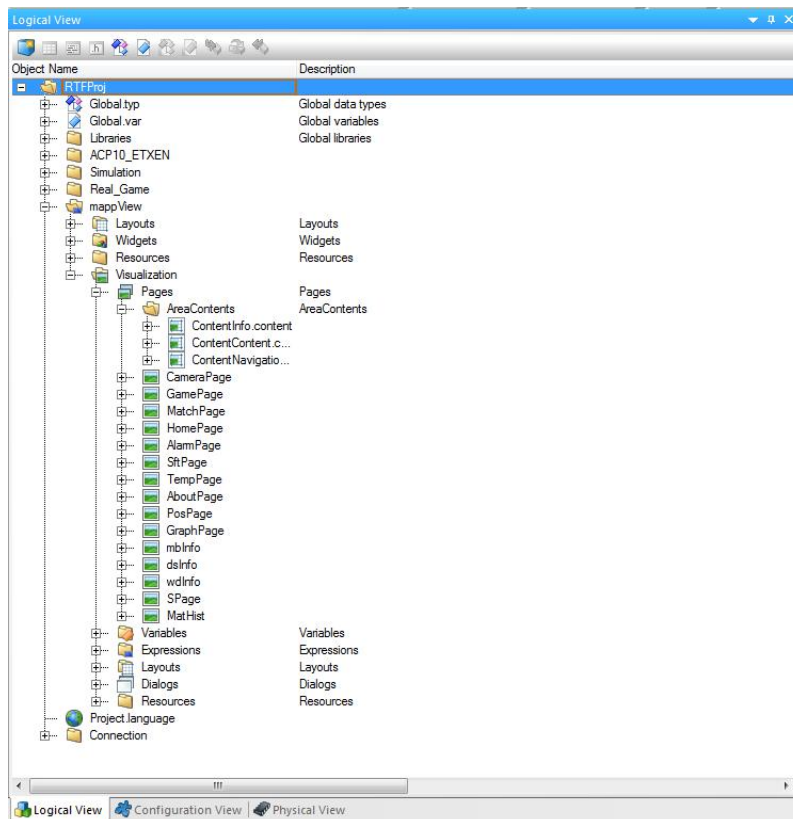
D. STROM PRVKOV VYTVORENÝCH V AS



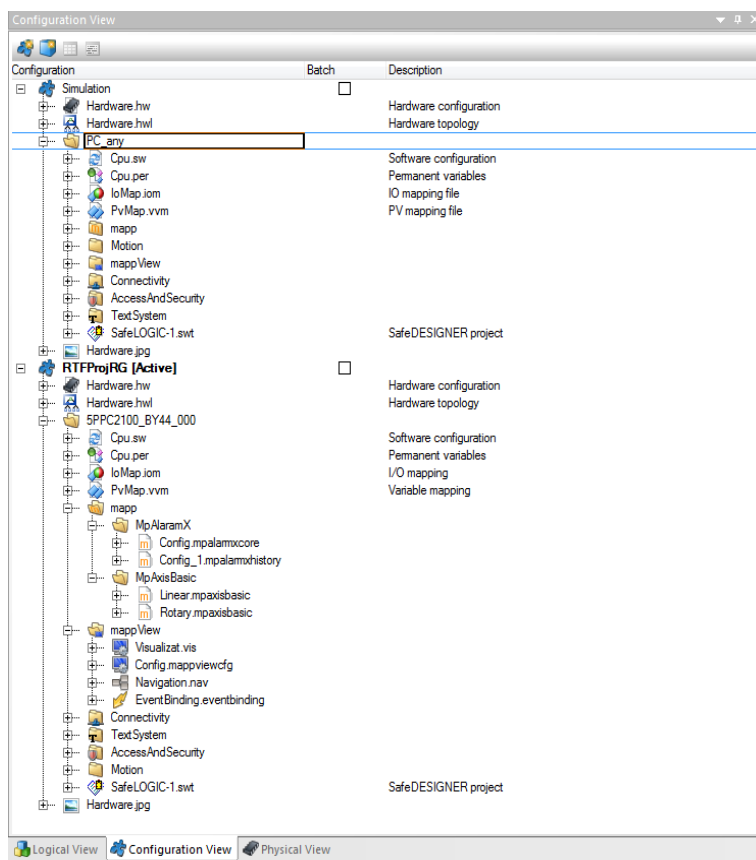
Obr. 1: Logická časť – vytvorená knižnica a jednotlivé funkčné bloky/funkcie



Obr. 2: Logická časť – program pre simuláciu a reálnu hru, parametre pre jednotlivé druhy motorov



Obr. 3: Logická časť – vytvorená vizualizácia a jej hlavné stránky



Obr. 4: Konfiguračná časť – simulácia/reálna hra

Physical View				
Name	...	Position	Version	Description
5AP933.156B-00			1.4.0.1	AP933 TFT C HD 15.6in T
5PPC2100_BY44_000		SY1	1.2.4.0	PPC2100 E3845 4C 1.91GHz 2MB 10W 4GB CB
ETH1		IF3		Ethernet
ETH2		IF4		Ethernet
USB1		IF5		Universal Serial Bus
USB2		IF6		Universal Serial Bus
5ACCIF01.FPSC-000		SL1	1.2.1.0	HMI IF01 Powerlink FRAM RS232 CAN
PLK		IF1		POWERLINK
X20BB80		ST1	1.0.0.2	X20 Bus Base for bus controller or hub
X20BC0083		SL1	2.5.2.0	X20 Bus Controller POWERLINK
X20PS9400		PS1	1.0.2.4	24 VDC power supply module for BC, internal IO supply and bus
X2X		IF1		X2X Link Interface
X20DI9371		ST2	1.0.1.3	12 Digital Inputs 24 VDC, Sink, IEC 61131-2, Type 1
X20DO9322		ST3	1.0.3.0	12 Outputs 24 VDC / 0.5 A, Source
X20AI2622		ST4	1.0.3.1	2 Inputs ±10 V / 0 to 20 mA 12 bit
X20AI2632		ST5	1.1.5.1	2 Inputs ±10 V / 0 to 20 mA 16 bit
X20SLX842		ST6	1.10.1.2	X20 SafeLOGIC Compact, 8xI 24V, 4xO 24V 3.0A, 2xO 24V 0.05A
80VD100PD.C000-01		ST2	2.0.1.0	ACOPOSmicro Servo, 2x 8 A, 2x EnDat
		EC1		
		EC2		
		MT1		
		MT2		
80VD100PD.C188-01		ST3	2.0.1.0	ACOPOSmicro Servo, 2x 8 A, 2x LinMot®
		EC1		
		EC2		
		MT1		
		MT2		
80VD100PD.C000-01a		ST4	2.0.1.0	ACOPOSmicro Servo, 2x 8 A, 2x EnDat
		EC1		
		EC2		
		MT1		
		MT2		
80VD100PD.C188-01a		ST5	2.0.1.0	ACOPOSmicro Servo, 2x 8 A, 2x LinMot®
		EC1		
		EC2		
		MT1		
		MT2		
In-Sight		ST6	4.8.0	In-Sight 7000 series camera (0000031D_In-Sight-7000.xdd)
CAN		IF3		Controller Area Network Bus
Serial		IF5		Communication Port

Obr. 5: Fyzická časť – zoznam a adresy v konfigurácii jednotlivých prvkov nachádzajúcich sa na robotickom stolnom futbale

E. STRÁNKY HMI VIZUALIZÁCIE



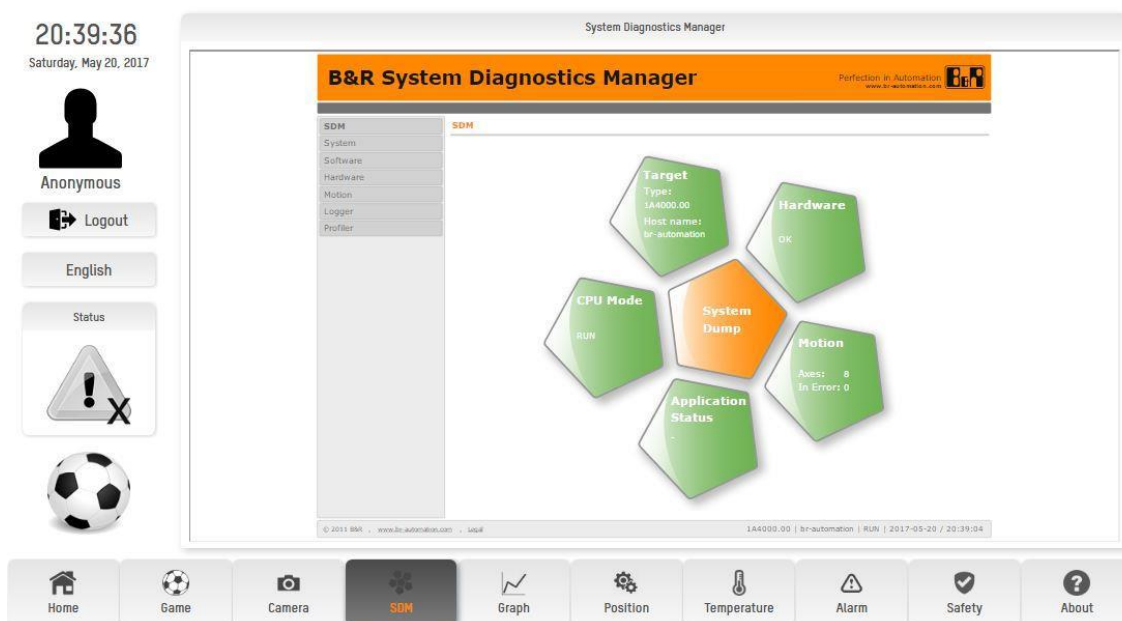
Obr. 1: Úvodná obrazovka spolu so zmenou jazyka



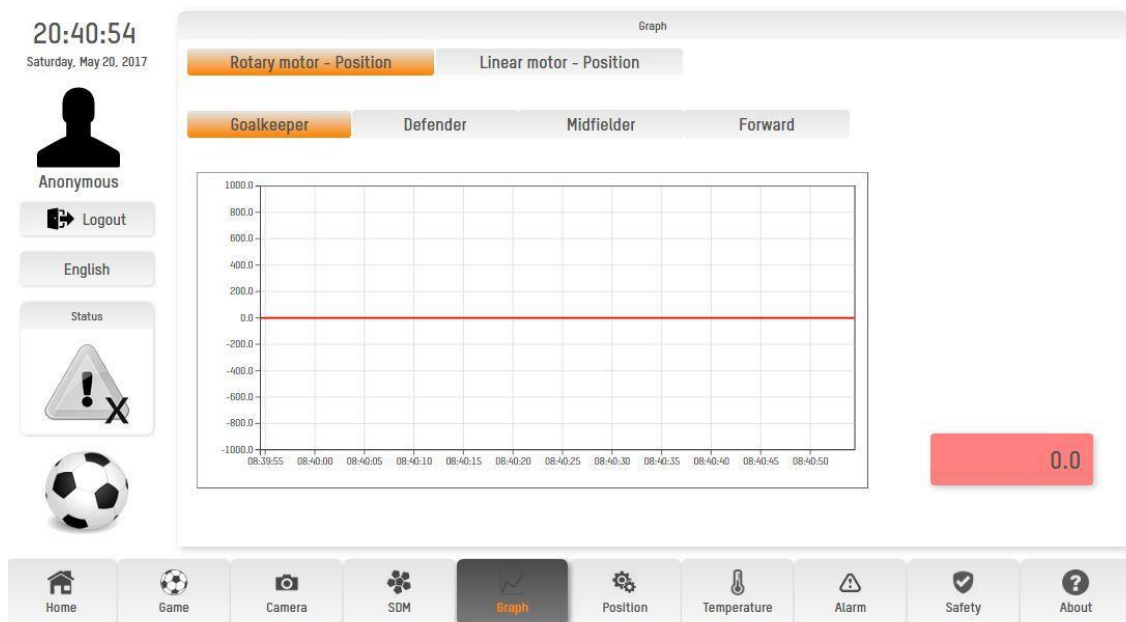
Obr. 2: Obrazovka pre herné nastavenia a spustenie hry, prípadné prezretie štatistík zápasov dňa



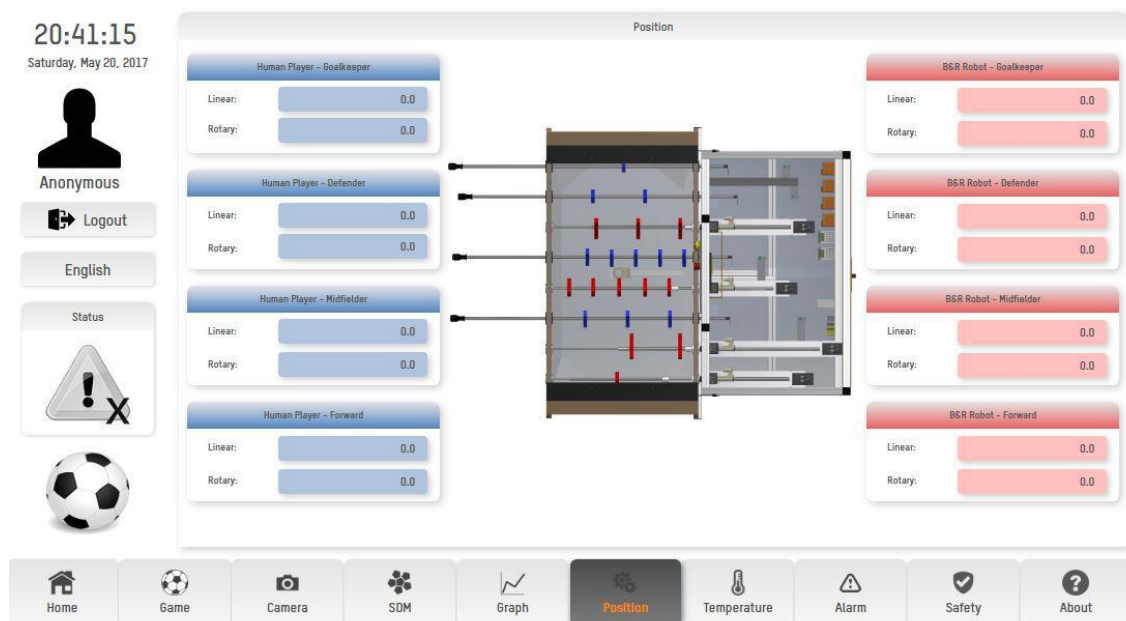
Obr. 3: Informácie o kamere



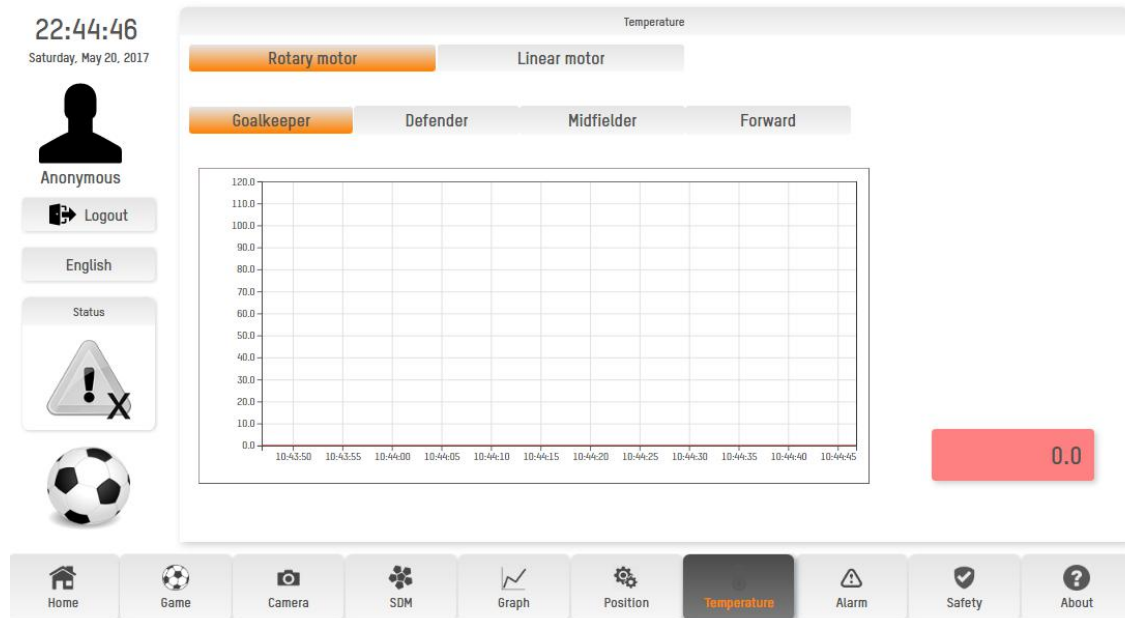
Obr. 4: Systémový diagnostický manažér



Obr. 5: Grafy hodnôt pozícií jednotlivých motorov



Obr. 6: Pozície robotického a ľudského hráča

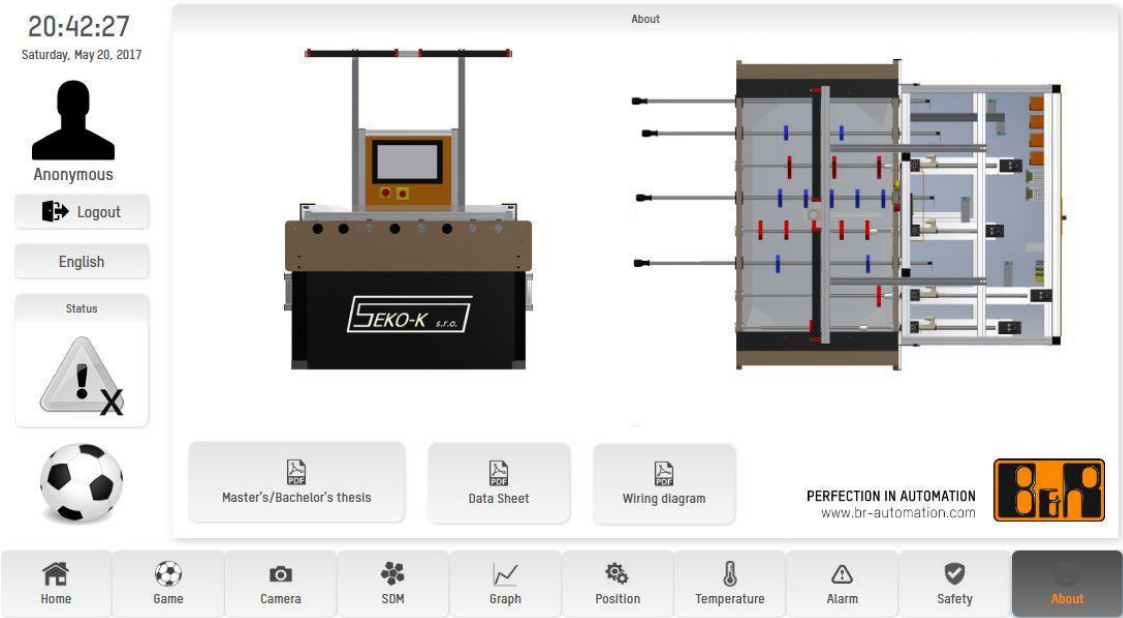


Obr. 7: Grafy hodnôt teploty jednotlivých motorov

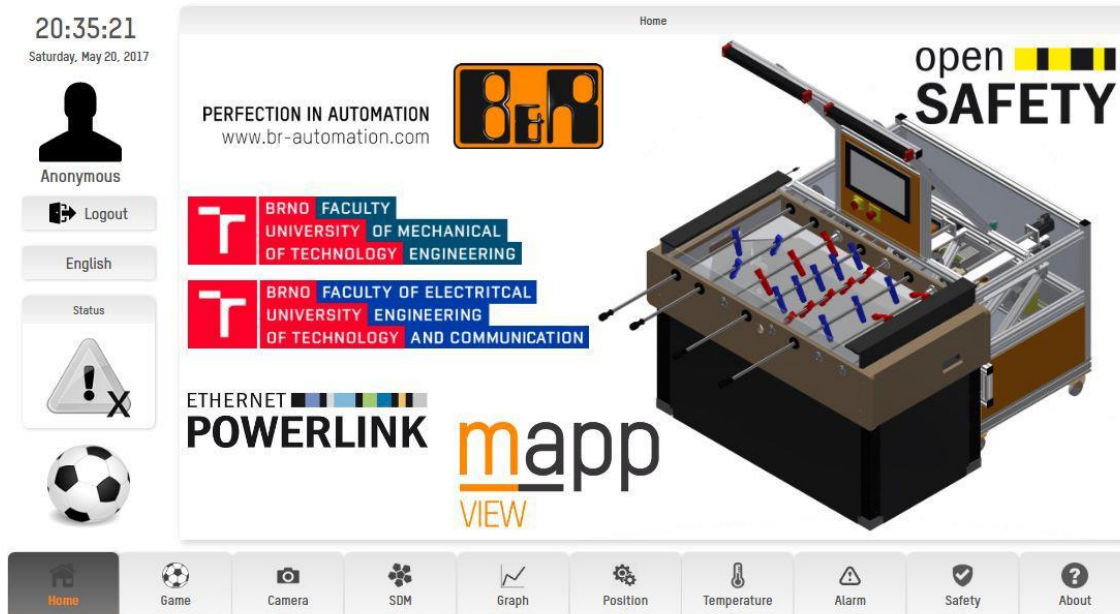
Obr. 8: Stránka pre jednotlivé Alarmy, ktoré vzniknú pri hraní



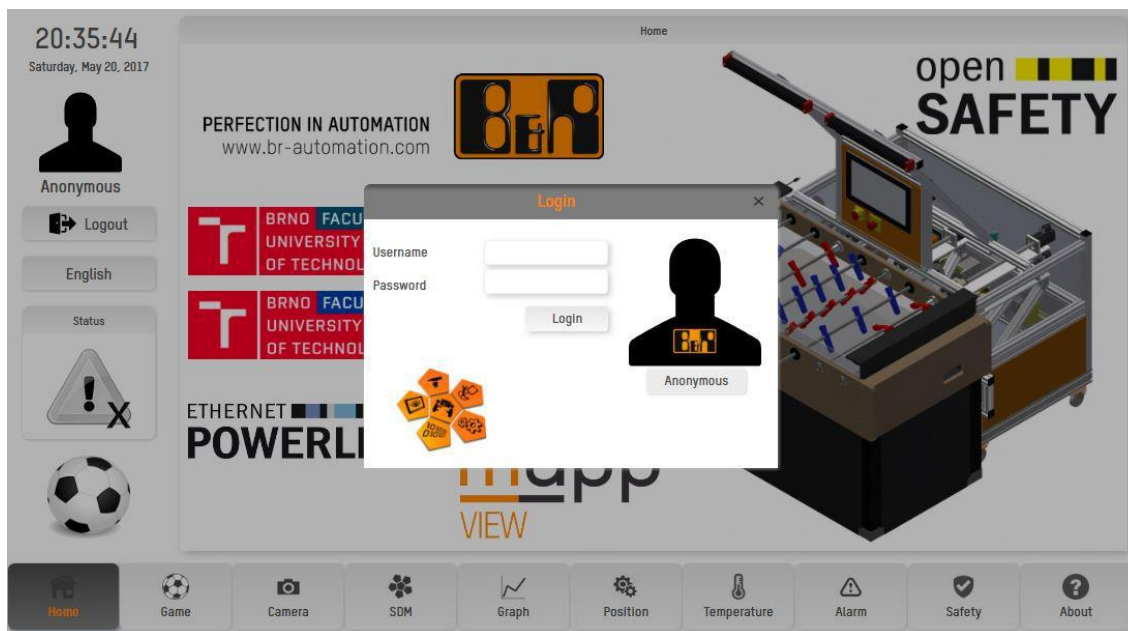
Obr. 9: Informuje o použití bezpečnostných prvkov (zelená – safety OFF, červená safety ON)



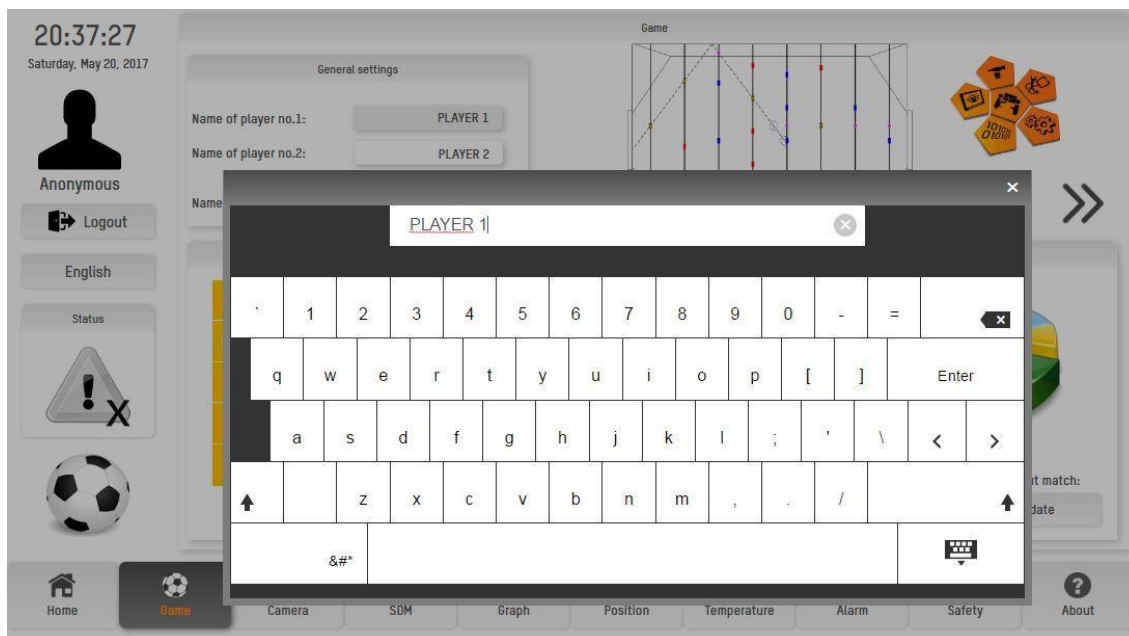
Obr. 10: Informačná stránka



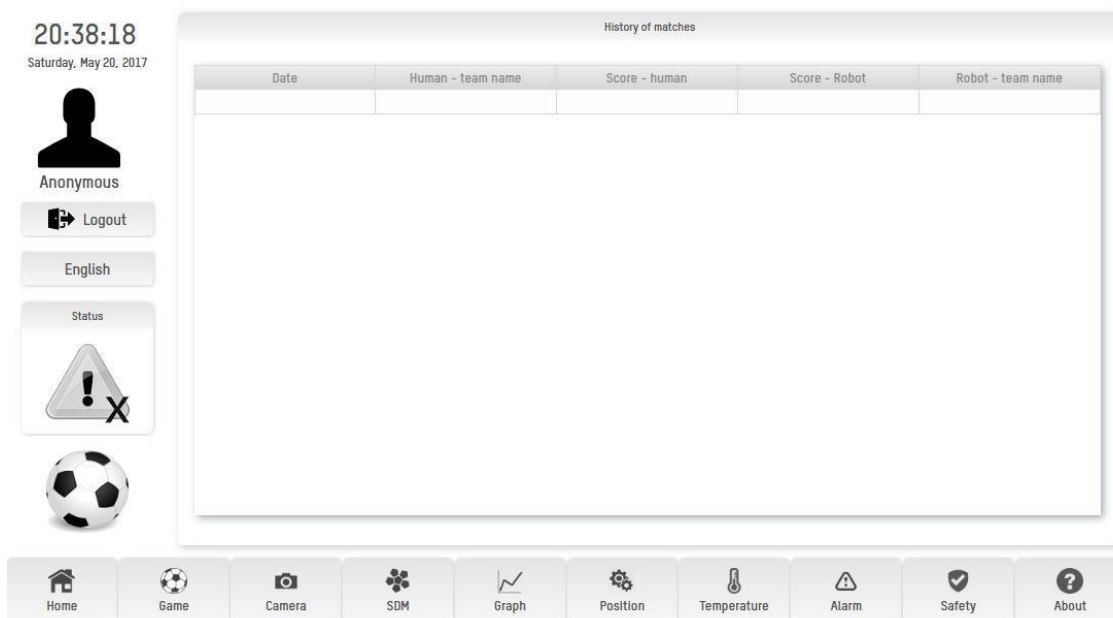
Obr. 11: Úvodná obrazovka bez zaškrtnutia zmeny jazyka



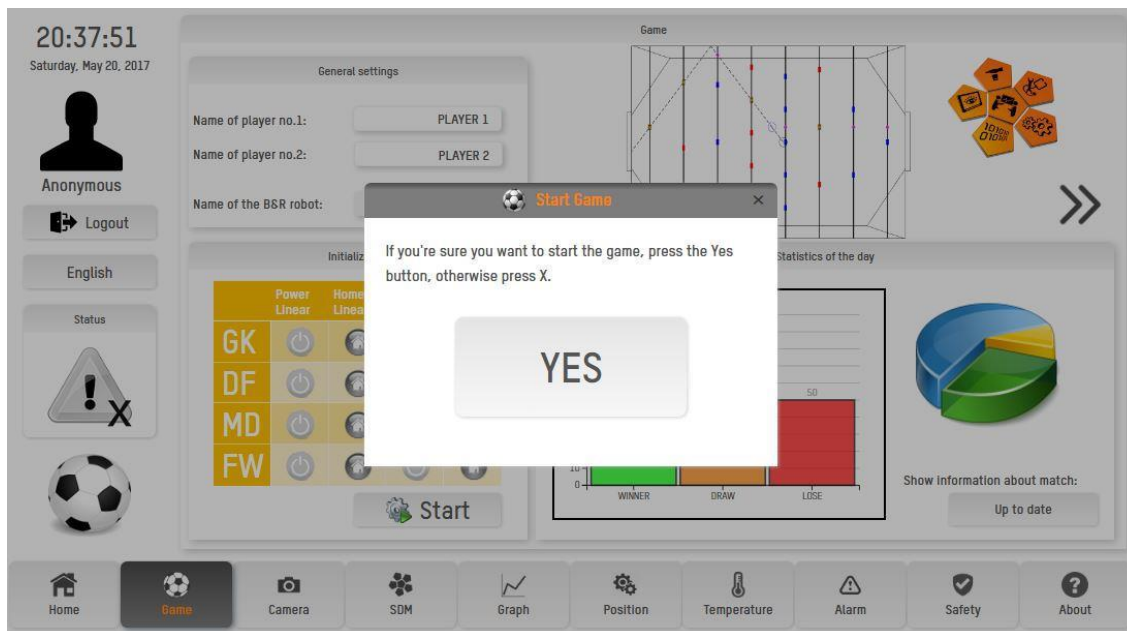
Obr. 12: Prihlasovanie užívateľa



Obr. 13: Klávesnica pre písanie mena hráča



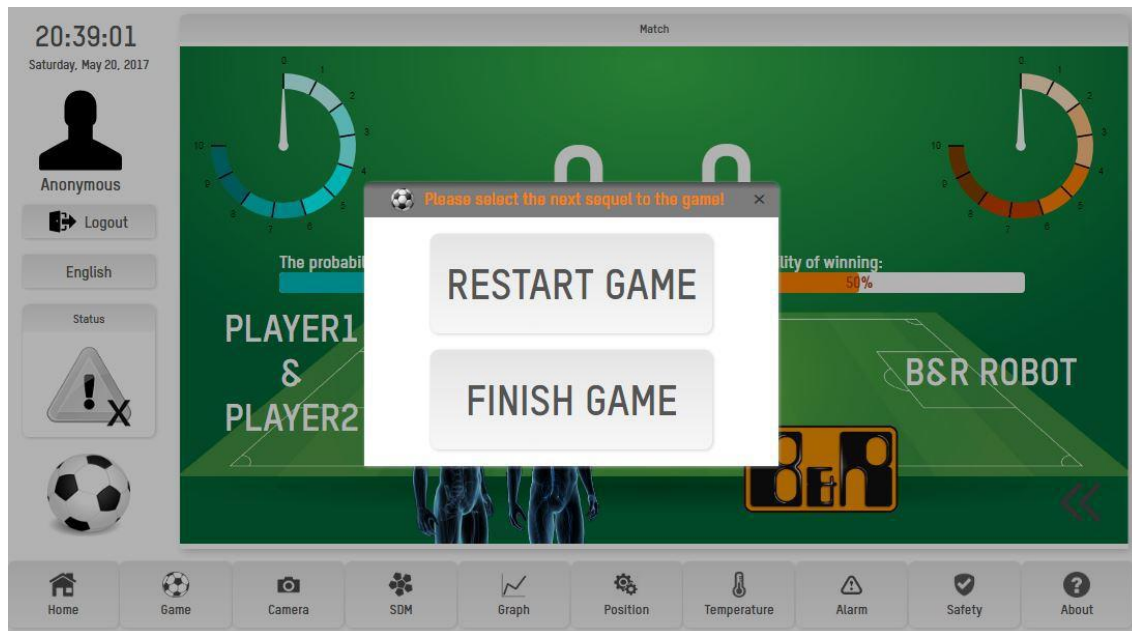
Obr. 14: Informácia o odohratých zápasoch



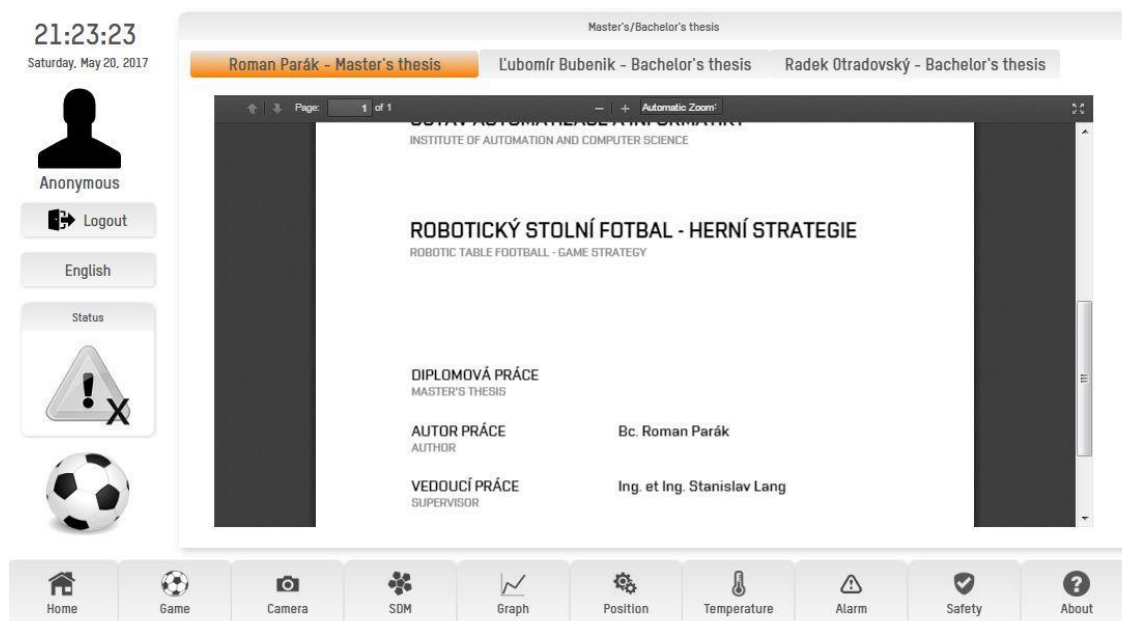
Obr. 15: Spustenie hry



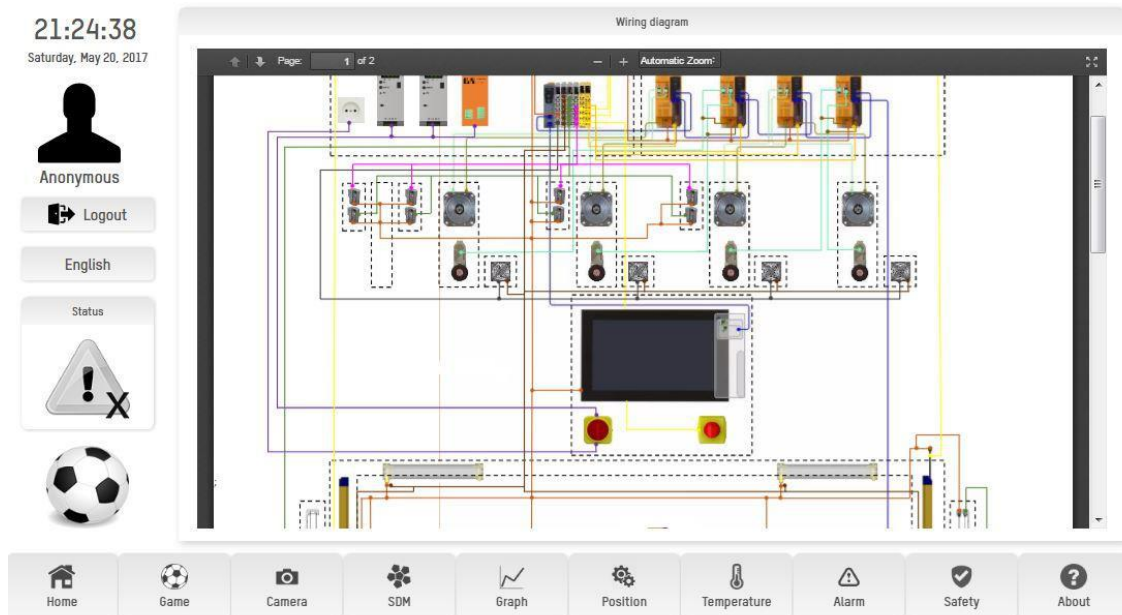
Obr. 16: Hlavná obrazovka pre zápas



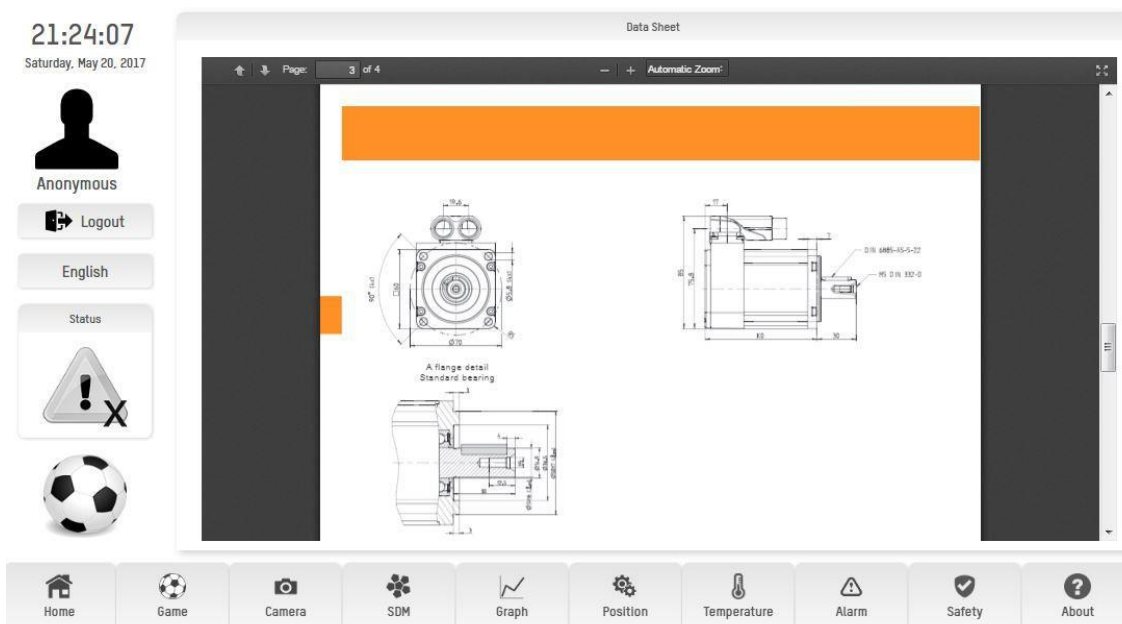
Obr. 17: Zrušenie alebo reštart zápasu



Obr. 18: Informácia o diplomových a bakalárskych prácach



Obr. 19: Informácia elektrického zapojenia robotického stolného futbalu



Obr. 20: Informácie o jednotlivých použitých komponentoch na robotickom stolnom futbale
(dátové hárky)

F. CD – ROM

Tab. 1: Obsah CD – hlavný adresár („\Diplomová práca\“)

Adresár	Súbor
\Diplomová práca\	2017_DP_Parak_Roman_184605.pdf
\Hlavný Program Automation Studio\	odkaz.txt DP_RP_RST.zip
\Prílohy\	PRILOHA_A.pdf PRILOHA_B.pdf PRILOHA_C.pdf PRILOHA_D.pdf PRILOHA_E.pdf PRILOHA_F.pdf
\Simulácia MATLAB\	DP_RP_MATLAB_SIM.7z
\Výkresová dokumentácia\	.dwg 1_DS_1_UPRAVA_OSI_OBRANCA.dwg 1_DS_1_UPRAVA_OSI_UTOCNÍK.dwg 1_DS_1_UPRAVA_OSI_ZALOZNIK.dwg 2_DS_1_ELEKTRICKA_SCHEMA.dwg .pdf 1_DS_1_UPRAVA_OSI_OBRANCA.pdf 1_DS_1_UPRAVA_OSI_UTOCNÍK.pdf 1_DS_1_UPRAVA_OSI_ZALOZNIK.pdf 2_DS_1_ELEKTRICKA_SCHEMA.pdf